



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Département de génie des procédés



Thèse

Présentée à

La faculté des sciences et de la technologie

Par

ASNOUNE Meriem

Pour obtenir le grade de :

Docteur

Spécialité : Génie des procédés

Option : Génie Analytique et Environnemental

**Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans
quelques villes de l'Ouest algérien**

Soutenue le 03 Mai 2017 devant les membres du jury:

Pr	R.M. GHEZZAR	Président	Université de Mostaganem
Pr	F. ABDELMALEK	Examinatrice	Université de Mostaganem
M.C.A.	N. GHALI	Examineur	Université de Saïda
Pr	A. ADDOU	Directeur de thèse	Université de Mostaganem

Remerciements

Pour m’avoir permis de mener ce travail à bien et de vivre ce moment mémorable, je tiens à remercier :

Le **Professeur Ahmed ADDOU** pour la confiance qu’il m’a accordée en acceptant d’encadrer ce travail, pour son suivi scientifique, ses multiples conseils et pour toutes les heures qu’il a consacrées à diriger cette recherche.

La directrice du laboratoire **Professeur Fatiha ABDELMALEK** pour m’avoir accueillie au sein de son laboratoire (STEVA) pendant ces années de recherche et pour l’honneur qu’elle m’a fait en acceptant d’être membre de mon jury de thèse en qualité d’examinatrice de mon travail. Je tiens à l’assurer de ma profonde reconnaissance pour l’intérêt qu’elle porte à ce travail.

Monsieur **R.M. GHEZZAR**, Professeur à l’université de Mostaganem, pour l’honneur qu’il m’a fait pour sa participation à mon jury de thèse en qualité de président, pour le temps consacré à la lecture de cette thèse, et pour les suggestions et les remarques judicieuses qu’il m’a indiquées.

Monsieur **N. GHALI**, Maître de conférences à l’université de Saïda, pour avoir accepté d’être examinateur de cette thèse et pour les commentaires m’ayant permis de l’améliorer.

Monsieur **K. MEZGHOUNI**, Maître de conférences à l’Ecole Centrale de Lille, pour m’avoir accordé l’accès à son laboratoire (LAGIS), pour son soutien et son aide tout au long de mes stages.

Monsieur **A. Djelloul** Professeur à l’université de Mostaganem pour son aide et ses conseils.

Monsieur **M. Okacha** pour sa gentillesse et son assistance dans la maîtrise du logiciel de l’optimisation et pour toutes les connaissances que j’ai pu recevoir sur ce logiciel.

Monsieur **G. Abdelli** pour son soutien et son aide sans limite, surtout dans la rédaction de ce travail.

Les membres du laboratoire (STEVA) et ceux de l’équipe (Lithiase) pour leurs encouragements, leur aide et leur bonne humeur et ces bons moments que nous avons partagés.

Je ne pourrai terminer ces remerciements sans y associer **mes parents, mes sœurs, mes frères** et **mes amis** qui m’ont toujours apporté tout leur soutien et leur appui afin d’arriver au terme de cette aventure. A toutes et à tous je leur dis un grand merci.

Résumé de la thèse

La gestion des déchets ménagers reste un grand défi pour les pays en développement de manière générale et notamment pour l'Algérie. En raison de l'image qu'ils dégagent par leurs augmentations quantitative et qualitative, les déchets présentent un réel signe d'une surconsommation plus grande et plus diversifiée engendrant d'énormes risques sur l'environnement et, par conséquent, sur la santé des populations.

A cet effet, notre étude a permis, et pour la première fois, de contribuer à l'étude de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien (Tiaret, Mostaganem, Tlemcen, Oran, Relizane, Sidi-Bel-Abbès, Ain Témouchent, Mascara, Saïda, Naâma et Béchar). Ceci en mettant en évidence leurs quantités de déchets par jour et par habitant, leurs compositions physique, chimique et microbiologique, la situation de la gestion par rapport à d'autres villes et les bénéfices pouvant être tirés dans les différentes filières de valorisation (récupération, compostage, méthanisation et enfouissement technique), ceci d'une part.

D'autre part, la situation de ces villes en termes de gestion des déchets ménagers peut être améliorée grâce à l'étude d'optimisation de la gestion de ces déchets que nous proposons. Cette étude a permis d'identifier des scénarios possibles de traitement des déchets en proposant les coûts les plus bas pour leurs exploitations et la conception d'un système optimal pour leur gestion en intégrant le principe des 3R-VE (réduction à la source, réemploi, recyclage, valorisation et élimination).

Parmi les scénarios proposés, le scénario 4 (installations mixtes) représente un réseau de traitement des déchets ménagers satisfaisant et rentable qui pourrait fournir aux villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien durant la période (2016-2025), des gains assez importants par compostage et la récupération des matériaux recyclables, et d'autres gains par la vente de l'électricité par la méthanisation et l'enfouissement technique avec une réduction des gaz à effet de serre(GES).

Summary

The household wastes management stays a big challenge for developing countries in a general way in particular for Algeria. Because of the image which they clear by their quantitative and qualitative increases, wastes present a real sign of a bigger and more diversified overconsumption engendering enormous risks on the environment and, consequently, on the health of the populations.

For that reason, our study permitted, and for the first time, to contribute to the study of the household wastes management in the western cities Algerian: Tiaret, Mostaganem, Tlemcen, Oran, Relizane, Sidi-Bel-Abbès, Ain Témouchent, Mascara, Saïda, Naâma and Béchar. This by highlighting their quantities of waste by inhabitant and by day, their physical, chemical and microbiological compositions, The management situation compared to other cities and profits which can be drawn in different channels recoverable (recovery, composting, anaerobic digestion and landfill), this of the one hand.

One the other hand, the situation of these cities in terms of household waste management can be improved through to the study of optimization of the management of this waste, which we propose.

This study enables the identification of the possible scenarios of waste treatment by proposing the lowest cost for their exploitations and by conceiving an optimal system for their management using the principle of reduction at the source, reuse, recycling, valorization and elimination (3R-VE).

Among the proposed scenarios, the model of scenario 4 (mixed installations) presents a treatment system suitable and profitable household waste that could offer cities in western Algeria during the period (2011-2025) sizeable gains by composting and the recovery of recyclable materials, and other gains from the sale of electricity through anaerobic digestion and landfill with a reduction of greenhouse gas (GHG) emissions.

الملخص

لا تزال إدارة النفايات المنزلية تشكل تحديًا كبيرًا للبلدان النامية عموماً وخاصة الجزائر. فالنفايات دليل حقيقي للاستهلاك المفرط للفرد الجزائري و يظهر ذلك من خلال الارتفاع الكمي والنوعي المذهل لها مما يؤثر سلباً على البيئة وبالتالي على صحة السكان.

ولهذا السبب، نهدف بعملنا هذا، و للمرة الأولى، إلى المساهمة في دراسة إدارة النفايات المنزلية في مدن غرب الجزائر (تيارت، مستغانم، تلمسان، وهران، غليزان، سيدي بلعباس، عين تموشنت، معسكر، سعيدة، نعامة و بشار). وهذا بتسليط الضوء على: كمياتها من النفايات اليومية لكل فرد، المكونات الفيزيوكيميائية و الميكروبيولوجية للنفايات وكذا الحالة الإدارية مقارنة بالمدن الأخرى بالإضافة إلى الفوائد التي يمكن جنيها في مختلف القطاعات القابلة للاسترداد (الاسترجاع، التسميد، الهضم اللاهوائي والدفن التقني)، هذا من جهة. و من جهة أخرى، يمكن التحكم في تسيير النفايات المنزلية وتحسين وضعها في المدن المذكورة من خلال اقتراحنا لدراسة أمثل لإدارتها. وذلك بانتهاج سيناريوهات محددة لمعالجة النفايات عن طريق اقتراح أقل التكاليف لعملياتها وتصميم النظام الأمثل لإدارتها بدمج مبدأ 3R-VE (الحد من المصدر وإعادة الاستخدام إعادة التدوير والاسترداد والإزالة).

ومن بين السيناريوهات المقترحة، السيناريو 4 (المنشآت المختلطة) وهو عبارة عن شبكة مرضية ومربحة لمعالجة النفايات المنزلية والتي يمكن أن تحقق لمدن غرب الجزائر خلال الفترة (2011-2025) مكاسب كبيرة من خلال السماد و استرجاع المواد القابلة لإعادة التدوير وغيرها من المكاسب من بيع الكهرباء من خلال الهضم اللاهوائي والدفن التقني مع انخفاض في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (الغازات الدفيئة).

Table des matières

Introduction générale	4
I. Généralités sur les déchets	7
I.1. Contexte juridique des déchets en Algérie	7
I.2. Les domaines d'étude des déchets.....	8
I.3. Terminologie des déchets	10
I.3.1. Définition algérienne.....	10
I.3.2. Définition environnementale.....	10
I.3.3. Définition juridique	10
I.3.4. Définition économique	10
I.4. Les acteurs de déchet.....	10
I.4.1. Secteur public	10
I.4.2. Secteur privé formel	11
I.4.3. Secteur privé informel	12
I.5. Classification des déchets.....	12
I.6. Les déchets ménagers et assimilés	12
I.6.1. Définition	12
I.6.2. Gisement des déchets ménagers	13
I.6.3. Ratio journalier.....	13
I.7. Caractérisations de déchets ménagers	15
I.7.1. Composition physique.....	15
I.7.2. Composition chimique	17
I.7.3. Caractérisation microbiologique	19
I.8. La gestion des déchets ménagers.....	21
I.8.1. Naissance d'une science du déchet : la rudologie	21
I.8.2. Le principe de la gestion des déchets	21
I.8.3. Organisation du service de la gestion des déchets ménagers	21
I.8.4. Le tri chez le citoyen	23
I.8.5. La collecte	23
I.8.6. Le centre de tri.....	25
I.8.7. Le traitement	25
I.8.8. Modes de gestion économique des déchets ménagers	27
I.9. Optimisation de la gestion des déchets ménagers	27
II. Matériel et méthodes	31

II.1.	Caractérisations physique	31
II.1.1.	Composition physique	31
II.1.2.	Densité.....	31
II.2.	Caractérisation chimique	31
II.2.1.	L'humidité et la matière sèche	31
II.2.2.	Conductivité	32
II.2.3.	Potentiel hydrogène (pH)	32
II.2.4.	La teneur en matière organique	32
II.2.5.	La teneur en carbone organique	33
II.2.6.	La teneur en azote	34
II.2.7.	Nitrite et Nitrates	34
II.2.8.	Rapport C/N	35
II.2.9.	Les métaux lourds	35
II.3.	Caractérisation microbiologiques	36
II.3.1.	Préparation de l'échantillon	36
II.3.2.	Recherche des staphylocoques pathogènes (Norme XP-T 90-412).....	36
II.3.3.	Recherche des entérocoques (Norme NF ISO 7899-1).....	36
II.3.4.	Recherche des Clostridium sulfite-réducteurs et leurs spores (Norme Afnor NF EN 26461-1, ISO6461-1)	36
II.3.5.	Recherche de Campylobacter jejuni (Norme ISO 17-995)	37
II.3.6.	Recherche de salmonella spp (Norme NF EN ISO 6579).....	37
II.3.7.	Recherche de Yersinia enterocolitica.....	37
II.3.8.	Recherche des coliformes totaux (Norme NF V 08-050)	38
II.3.9.	Recherche des coliformes fécaux (thermo-tolérants) (Norme NF V 08-060)....	38
II.3.10.	Recherche des germes fécaux (Norme NF EN ISO 4833).....	38
III.	Gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien	40
III.1.	Présentation de la région d'étude	40
III.2.	Visite sur terrain des villes étudiées	41
III.3.	Mode de gestion des déchets dans les villes étudiées.....	42
III.4.	Quantités des déchets ménagers reçues aux CET.....	43
III.5.	Etude de l'évolution du ratio (kg/hab/j)	45
III.5.1.	Etude comparative de la production des DM par rapport aux villes de pays en développement	46

III.5. 2.	Etude comparative par rapport aux villes de certains pays développés	47
III.6.	Composition des déchets ménagers.....	48
III.6.1.	Comparaison de la composition physique avec quelques pays.....	50
III.7.	Caractérisation physico-chimiques des déchets ménagers	51
III.8.	Caractérisation microbiologique	53
IV.	Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien.....	56
IV.1.	Superstructure pour le développement du modèle	56
IV.2.	Formulation du modèle.....	57
IV.2.1.	Fonction objective	57
IV.2.2.	Variables ajustables.....	62
IV.2.3.	Contraintes	62
IV.3.	Minimisation du coût total du système.....	62
IV.3.1.	Scénario S 1 : optimisation pour l'enfouissement technique (LF).....	62
IV.3.2.	Scénario S 2 : optimisation du compostage	62
IV.3.3.	Scénario S 3 : optimisation de la digestion anaérobie (méthanisation).....	62
IV.3.4.	Scénario S4 : optimisation des installations mixtes (CM, ANB, LF et MRF) ...	62
IV.4.	Résultats de l'optimisation en fonction de scénarios proposés	63
IV.4.1.	Coût total optimal du système	63
IV.4.2.	Profit total optimal du système.....	66
IV.5.	Calcul des bénéfices pour chaque installation de traitement inclus dans le scénario choisi (installations mixtes)	69
IV.5.1.	Tiaret	69
IV.5.2.	Tlemcen.....	72
IV.5.3.	Mostaganem	74
IV.5.4.	Ain Témouchent.....	77
IV.5.5.	Oran.....	79
IV.5.6.	Relizane.....	82
IV.5.7.	Saïda	84
IV.5.8.	Mascara	86
IV.6.	Calcul des quantités de gaz à effet de serre émises	90
IV.6.1	Installation de récupération	90
IV.6.2.	Compostage.....	91
IV.6.3.	Méthanisation	91

IV.6.4.	Enfouissement technique :	91
IV.7.	Valorisation des déchets ménagers dans la région de l'Ouest et Sud Ouest algérien durant la période 2011-2025	92
	Conclusion générale	94
	Références bibliographiques	97

Liste des figures

Figure 1. La production mondiale des déchets solides municipaux (2012-2015).....	14
Figure 2. La composition moyenne des déchets ménagers par continent	16
Figure 3. Schéma classique d'une gestion intégrée des déchets inspiré de Le Bozec, 2008. ..	22
Figure 4. Localisation des villes étudiées sur la carte d'Algérie.....	40
Figure 5. L'état et le nombre des C.E.T dans les wilayas étudiées	41
Figure 6. Quantité des déchets ménagers générée par année	44
Figure 7. La superstructure du système de la gestion des déchets ménagers.....	57
Figure 8. Coût total optimal du système	64
Figure 9. Profit total optimal du système	66
Figure 10. Matériels recyclables de CET de Tiaret.....	71
Figure 11. Quantité et prix de vente de compost à Tiaret	71
Figure 12. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Tiaret.....	72
Figure 13. Matériels recyclables du CET de Tlemcen	73
Figure 14. Quantité et prix de vente de compost à Tlemcen.....	74
Figure 15. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Tlemcen.	74
Figure 16. Matériels recyclables du CET de Mostaganem	76
Figure 17. Quantité et prix de vente de compost à Mostaganem	76
Figure 18. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Mostaganem.....	77
Figure 19. Matériels recyclables du CET de Ain Témouchent	78
Figure 20. Quantité et prix de vente de compost à Ain Témouchent.....	79
Figure 21. Résultats de méthanisation relatifs au CET d'Ain Témouchent.....	79
Figure 22. Matériels recyclables du CET d'Oran	81
Figure 23. Quantité et prix de vente de compost à Oran.....	81
Figure 24. Résultats de méthanisation relatifs au CET d'Oran.....	82
Figure 25. Matériels recyclables du CET de Relizane	83
Figure 26. Quantité et prix de vente de compost à Relizane.....	83
Figure 27. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Relizane	84
Figure 28. Matériels recyclables du CET de Saïda	85
Figure 29. Quantité et prix de vente de compost à Saïda.....	85
Figure 30. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Saïda.....	86
Figure 31. Matériels recyclables du CET de Mascara	87
Figure 32. Quantité et prix de vente de compost à Mascara	87
Figure 33. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Mascara.	88
Figure 34. Quantité totales des gaz à effet de serres générées durant 2011-2025.....	91
Figure 35. Valorisation des déchets ménagers dans la région de l'Ouest et Sud Ouest algérien (2011-2025).....	93

Liste des tableaux

Tableau 1. Disciplines traitant du thème des déchets et de leurs principaux domaines d'étude (Nicolas, 2004)	9
Tableau 2. Production de déchets selon le niveau de revenu des pays (Chalmin, 2011)	15
Tableau 3. Les teneurs en métaux dans les déchets de certains pays	19
Tableau 4. Les principaux microorganismes susceptibles de se retrouver dans les déchets ménagers (Schwartzbord et al., 1998).	20
Tableau 5. Caractéristiques des différents modes de gestion des déchets solides ménagers (Topanou, 2012)	27
Tableau 6. Courbe d'étalonnage (nitrites)	34
Tableau 7. Courbe d'étalonnage (Nitrate)	35
Tableau 8. Présentation des centres d'enfouissement techniques étudiés	42
Tableau 9. L'évolution du ratio (kg/hab/j) dans les villes étudiées	45
Tableau 10. Composition physique des déchets ménagers dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien	48
Tableau 11. La composition physique des déchets ménagers au niveau international	50
Tableau 12. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des déchets ménagers	51
Tableau 13. Identification de la teneur en métaux dans les déchets ménagers	53
Tableau 14. Résultats d'analyse des microorganismes dans les déchets ménagers	53
Tableau 15. Fonctions approximatives des coûts des installations de traitement.	59
Tableau 16. Les valeurs utilisées pour appliquer l'optimisation	60
Tableau 17. Taux résiduel de chaque composant j dans les installations de traitement i (%) .	61
Tableau 18. Taux de BReciet EEConvi	61
Tableau 19. Taux d'augmentation des coûts de traitement par méthanisation (S3)	65
Tableau 20. Résultats du scénario S4 (installations mixtes)	65
Tableau 21. Profits moyens du scénario S1	66
Tableau 22. Les bénéfices moyens du troisième scénario (ANB)	67
Tableau 23. Les bénéfices moyens du quatrième scénario (installations mixtes)	67
Tableau 24. Quantités de méthane et de l'électricité générée par l'enfouissement technique dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien (2011-2025)	89
Tableau 25. Les quantités de GES évitées par le recyclage durant (2011-2025)	90

Abréviations

3P : Principe du pollueur-payeur

3R-VE : Réduction des déchets à la source, réemploi, recyclage, valorisation et élimination

3T : Température, Temps de séjour et Turbulence

ACV : cycle de vie

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AFNOR : Association Française de Normalisation

AGV : Acides gras volatils

ANB: anaerobic digestion facility

AV : Apport volontaire

C.S.D.U : centres de stockage des déchets ultimes

C/N : Rapport carbone organique/azote

C.E.D : Catalogue européen des déchets

CET : Centre d'enfouissement technique

CM : Compostage

DM : Déchets ménagers

Eq : Equivalent

G.E.S : Gaz à effet de serre

H : Humidité

Hab : Habitant

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

ICP-AES: Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry

LF: Landfill

LP: Linear programming

MILP: Mixed integer linear programming.

MODECOM : Mode de Caractérisation des Ordures Ménagères

MOT : Matière organique totale

MRF : Material recovery facility

MS : Matière sèche

MSV : Matière solide volatile

NLP: No-linear programming

NTK : somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique

O.N.G : Organisation non gouvernementale

OM : Ordures ménagères

P.A.P : Porte à porte

PI : Pays Industrialisés

PCI : Pouvoir calorifique inférieur

PED : Pays en développement

PM : Molécule particulaire

PRG : Pouvoir de réchauffement globale ()

PROGDEM : programme national de gestion des déchets ménagers municipaux

REFIOM : Résidus de l'épuration des fumées de l'incinération des ordures ménagères

SA : Modèles d'évaluation du système

SE : Modèles d'ingénierie de système

TEOM : Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères

UE : l'Union Européenne

UFC : unité formant une colonie

VRBL: Cristal violet et au rouge neutre

WTE: Waste to energy

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien ont de nombreuses similitudes avec plusieurs villes des pays en développement notamment en termes de gestion des déchets ménagers qui est basée sur le principe de la collecte et transport vers la décharge ou le centre d'enfouissement.

Auparavant, les déchets étaient transportés vers des décharges sauvages entraînant en parallèle des entreposages sur les bords des routes, dans les canaux de drainage, dans des terrains vides ou dans les constructions ouvertes des bâtiments. Quant à la collecte, elle s'effectuait dans des conditions difficiles avec des véhicules inadaptés laissant échapper des quantités de leur charge en cours du transport. En plus, des déchets toxiques provenant des activités économiques et des établissements de soins y compris des déchets infectieux ont été collectés et transportés de la même manière que les déchets ménagers.

En conséquence, les conditions de ramassage, de collecte et d'élimination des déchets ménagers dans ces villes se dégradent de jour en jour.

Pour cette raison et pour d'autres, la loi n°01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets a eu pour objet de fixer les modalités de la gestion, de contrôle et de traitement des déchets dans le but de placer l'Algérie dans une situation de bonne gestion des déchets. Cette loi a été mise en œuvre sous le programme national algérien de gestion des déchets municipaux (PROG-DEM) qui a pour objectif principal de réaliser des centres d'enfouissement techniques (CET classe 2).

Cette politique a permis à la réalisation du 110 CET en 2011 pour atteindre 300 CET exploités en 2014 à travers les 48 wilayas du pays et éradiquer immédiatement 4500 décharges anarchiques sur un total de 6000, ce qui a conduit à la récupération de 157. 000 hectares de terre à aménager en jardins et espaces verts (Djamel, 2007).

Malgré ces efforts, cette loi n'a pratiquement rien réglée où la majorité des déchets ménagers à traiter sont enfouis, ce qui amène à la saturation rapide des casiers tandis que la valorisation reste négligeable et informelle.

Pour pouvoir assurer la politique de cette loi, il faut disposer moyens logistiques, de données fiables au niveau du gisement des déchets et les paramètres qui leurs sont spécifiques.

A cet effet, nous avons entrepris cette étude dans le but de :

- ✓ Collecte les données des déchets ménagers dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien (flux, quantité,..)
- ✓ Créer une banque de données concernant ces déchets ménagers
- ✓ Disposer de la composition physique, chimique et microbiologique de ces déchets ménagers.

Afin de proposer une optimisation de la gestion de ces déchets basée sur le principe de 3R-VE (**R**éduction à la source, **R**écupération ou réemploi, **R**ecyclage, **V**alorisation et **E**limination)

Ce travail a été appliqué à quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien telles que : Tiaret, Mostaganem, Tlemcen, Oran, Relizane, Sidi Bel Abbès, Ain Témouchent, Mascara, Saïda Naâma et Béchar.

Il est à rappeler que la loi algérienne n°01-19 définit la gestion des déchets ménagers comme toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations. Rappelons qu'en Algérie, à l'état actuel, cette gestion est limitée à la collecte et transport vers les CET ou décharges sauvages.

Le présent mémoire de thèse s'articule en quatre grandes parties :

Une première partie bibliographique consiste en :

- Un aperçu sur les déchets en commençant d'abord par quelques notions sur les déchets ménagers, puis leurs classifications et se terminant par les paramètres physico-chimiques de ces déchets.
- Une étude sur la gestion des déchets, ses différentes techniques, les modes de traitement comparés de ces déchets et enfin un aperçu sur l'optimisation de la gestion de ces déchets.

La seconde partie est consacrée aux méthodes et aux matériels analytiques utilisés.

Cette partie comprend la caractérisation physique du déchet qui identifie les principaux constituants du déchet, la caractérisation chimique et microbiologique.

La troisième partie concerne le gisement des déchets dans les villes investies comprenant:

- La localisation de ces villes
- Quantités des déchets reçues au CET étudiés
- Composition physique de ces déchets
- Caractérisation physico-chimique et microbiologique de déchets de Tiaret et Mostaganem

La quatrième et dernière partie est consacrée à l'optimisation de la gestion des déchets dans ces villes:

Cette partie concerne la proposition de l'optimisation de la gestion de ces déchets dans le but de disposer des éléments d'appréciation et d'évaluation pour toute opération de valorisation de ces déchets.

CHAPITRE I
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur les déchets

I.1. Contexte juridique des déchets en Algérie

La stratégie algérienne de la gestion des déchets est passée par un ensemble des textes et des lois réglementaires qui sont apparus depuis les années 60 dans le but d'organiser ce service.

En 1967, le gouvernement algérien signe le texte officiel qui fixe la réglementation concernant les fouilles, les sites et bâtiments historiques, mobiliers et immobiliers comme ceux naturels, ainsi que les critères, les degrés et la procédure de classification ainsi que les agences responsables de ces missions. Mais malheureusement, il n'a apporté aucuns résultats concrets sur le terrain. (Décret n°67-281 du 20 décembre 1967).

Ce n'est qu'en 1974 que le comité national pour la protection de l'environnement (C.N.E) a été créé. C'était une institution consultative qui avait le rôle de proposer les éléments essentiels de la politique environnementale dans le cadre du développement économique et social et de l'aménagement du territoire.

En 1983, une loi fondamentale, la Loi n°83-03 du 05/02/1983 relative à la protection de l'environnement. Les trois points importants du texte sont :

- (i) Protection, réorganisation et valorisation des ressources naturelles au sens large et pas seulement limités à la conservation des sites naturels comme il a été précisé dans le texte juridique de 1967 (Loi n°67-281 du 20/12/ 1967), jugé insuffisant par la suite
- (ii) Prévention et lutte contre toute forme de pollution et des effets nocifs.
- (iii) Amélioration du cadre et de la qualité de la vie.

Cette période n'a pas assurée une véritable protection de l'environnement. Elle a été caractérisée par la dispersion des missions de l'environnement dans différents secteurs avec un manque de coordination et de dialogue entre les différents intervenants.

L'année 1990 a marqué par le lancement des deux textes juridiques concernant les aspects de l'environnement; la Loi n°90-30 du 12 janvier 1990 qui exige la protection des zones dans la matière culturel et naturel et la Loi n°90-29 du 12 décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme qui organise le sol urbanisable, l'équilibre entre la fonction d'habitat, d'agriculture et d'industrie ainsi que de préservation de l'environnement, des milieux naturels, des paysages et du patrimoine culturel et historique.

Depuis 2000, un certain nombre de textes officiels ont été adoptés couvrant la gestion des déchets, la planification et de l'aménagement du territoire, la protection du littoral, la promotion des énergies renouvelables et la protection des zones de montagnes.

La loi la plus importante qui a été annoncée est la loi n°01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Divers plans et programmes nationaux ont été lancés depuis 2001, telles que le programme national de gestion intégrée des déchets municipaux dans le cadre du programme d'investissements 2002-2003, le programme national pour l'élimination des substances appauvrissant l'ozone et le programme national d'éducation environnementale dans les écoles en 2002.

Dans le cadre de la mise en œuvre des programmes liés à l'environnement, un programme quinquennal a été lancé en 2005, dénommé programme national de gestion intégrée des déchets municipaux (PROGDEM) pour 40 grandes villes algériennes et dont les objectifs sont :

- L'éradication des décharges sauvages
- Le développement de plans directeurs de gestion des déchets
- Le développement et l'équipement des sites d'enfouissement
- L'établissement d'un système performant de gestion
- Les programmes de formation et de sensibilisation
- Le renforcement du rôle de la police dans l'urbanisme et la protection de l'environnement.

Actuellement, on constate une faible évolution mais progressive sur les plans et programmes de protection de l'environnement dans l'esprit d'améliorer la gestion des déchets ménagers.

I.2. Les domaines d'étude des déchets

Le terme « déchet » est globalement lié aux activités humaines. Il intéresse plusieurs domaines tant économique, technique que juridique. En raison des nombreux enjeux, environnementaux, sociaux, économiques, réglementaires, etc., les déchets intéressent plusieurs disciplines de recherche.

Le tableau 1 présente diverses branches de recherche liées aux déchets où est abordée une partie seulement des domaines d'études possibles pour chaque branche. Les études de base de ces disciplines permettent de concevoir les aspects réglementaires, financiers, économiques et techniques correspondants au recyclage et à l'élimination des déchets de toute nature. (Nicolas, 2004)

Chapitre I

Revue bibliographique

Tableau 1. Disciplines traitant du thème des déchets et de leurs principaux domaines d'étude (Nicolas, 2004)

<i>Discipline</i>	<i>Domaines d'études</i>	
Sciences humaines	Sociologie	- Connaître les facteurs qui jouent sur la satisfaction des usagers, sur la performance de leurs pratiques en matière de collecte sélective et de tri.
	Anthropologie sociale	- Approche anthropologique de la pollution, par une analyse de sa conceptualisation, et de ses fonctions sociales et culturelles.
	Droit public	- Définition des instruments fiscaux et financiers de protection de l'environnement et de l'organisation de la gestion des déchets,
	Droit privé	- Passation de contrats qui délèguent la gestion des déchets à une entreprise spécialisée - Assurer une veille juridique, négocier et gérer les contrats
	Géographie	- Approche des représentations mentales de la population (le tri, consentement à payer pour mieux gérer ses déchets, etc...) - Approche spatiale des phénomènes liés à la gestion des déchets (localisation des unités de traitement, optimisation des transports, gisement, etc...)
Sciences de la matière et du vivant	Economie	- Représentation théorique et économique du comportement des consommateurs, lorsque ces derniers affichent un certain degré de sensibilité vis-à-vis de l'environnement. - Construction de méthodes économiques pour connaître les coûts de gestion des déchets. - Calcul du coût technique et social d'une modification liée à la gestion des déchets.
	Physique	- Etude des comportements des matériaux dans leur phase de construction et de décomposition
	Energie, thermique, Combustion	- Etude de la formation des polluants et notamment des oxydes d'azote lors de la combustion des chets ménagers
	Chimie	- Ecotoxicité des sols et des déchets, développer et évaluer différents tests biologiques d'écotoxicité et de génotoxicité sur un ensemble de matrices contaminées. - Identification des agents polluants, issus de la fabrication de matières ou de la destruction de déchets. - Développer et optimiser des procédés de biolavage pour la désodorisation des émissions gazeuses provenant de ces applications. - Caractériser les effluents à traiter, pour décrire et comparer les différents procédés de traitement physico-chimique et biologique en fonction des rejets à traiter.
	Sciences pour l'ingénieur, Génie des Procédés	- Compréhension des processus physico-chimiques dans le domaine des déchets - Qualifier et optimiser les procédés en place voire en mettre au point de nouveaux
	Agronomie, microbiologie	- Evaluation des risques sanitaires (liés aux épandages, traitement des boues, composts, etc....)
	Sciences de la terre et de l'environnement	- Etudier les effets à long terme des amendements organiques (boues et fumier) sur l'évolution des ETM et de la matière organique dans un sol de culture.
	Biosciences de l'environnement, Chimie de santé	- Étude d'impact des unités de traitement sur les populations, faunes et flores.
	Géo-mécanique	- Contrôle et prédiction des tassements des déchets en Centres de Stockage

I.3. Terminologie des déchets

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet. Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus pertinentes :

I.3.1. Définition algérienne

Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer (La loi algérienne n°01-19 du 12 décembre 2001)

I.3.2. Définition environnementale

Le déchet constitue une menace du moment où l'on envisage son contact avec l'environnement, qu'il soit direct ou après traitement. Les interfaces peuvent être :

- Avec le sol : décharges contrôlées ou sauvages
- Sur l'eau : pollution des eaux souterraines et de surface
- Sur l'air : dégagement de biogaz des décharge (essentiellement du méthane), dioxine, furanes, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) des usines d'incinérateurs.

I.3.3. Définition juridique

D'un point de vue juridique, deux notions se dégagent du déchet : (Addou, 2009)

- Notion subjective : un bien devient déchet lorsque son propriétaire confirme sa volonté d'abandonner tout droit de propriété.
- Notion objective : le déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement.

I.3.4. Définition économique

Un déchet est toute substance ou objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur, à un moment et dans un lieu donné (Addou, 2009).

I.4. Les acteurs de déchet

Selon la loi 01-19, les acteurs de déchets sont toutes personnes morales ou physiques agissant dans le domaine de la gestion des déchets, qui peuvent être des détenteurs (détient ses déchets) ou des générateurs (fait l'activité de gérer les déchets).

En Algérie, la gestion des déchets comporte trois secteurs: le secteur public, le secteur privé formel et le secteur privé informel.

I.4.1. Secteur public

• Au niveau national

Le premier responsable de gestion des déchets au niveau national est le ministère de l'aménagement du territoire de l'environnement et du tourisme (MATET) qui a le pouvoir de définir la politique

environnementale, il a été créé depuis 1980 sous le nom de ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE) et cela jusqu'à l'année 2007.

• **Au niveau régional**

Selon le décret n° 88-227 du 5 novembre 1988, le secteur public de la gestion des déchets est présenté par les inspections régionales de l'environnement portant attributions, organisation et fonctionnement des corps d'inspecteurs chargés de la protection de l'environnement.

En 17 janvier 1996, le décret exécutif n° 96-60 qui a été complété par le décret exécutif n° 03-494 du 17 décembre 2003 a créé les directions de l'environnement de wilaya (DEW), ce sont les organes principaux de l'Etat en matière de contrôle de l'application des lois et règlements relatifs à la protection de l'environnement, elles sont chargées de :

- La coordination entre les organes de l'État, de la wilaya et de la commune, afin d'établir un programme de protection de l'environnement sur l'ensemble du territoire de la wilaya.
- Le contrôle et la délivrance des permis, des autorisations et des visas dans le domaine de l'environnement prévus par la législation.
- L'information, l'éducation et la sensibilisation en matière d'environnement.
- Prendre des mesures tendant à améliorer le cadre et la qualité de vie.

• **Au niveau local**

Le service des déchets, au niveau local, est dirigé par une commune ou un groupement de communes. Dans le cadre d'amélioration la vie du citoyen, la loi 01-19 obligeant les communes à gérer les déchets ménagers et assimilés et de prendre en charge la vie des citoyens, dans la limite de ses moyens et conformément à la législation et la réglementation en vigueur, l'aménagement des espaces verts, la mise en place du mobilier urbain et participe à l'entretien des espaces récréatifs et des plages.

Malheureusement, les déchets toxiques en quantités dispersées DTQD et les encombrants ne sont pas pris en charge par l'APC.

I.4.2. Secteur privé formel

L'insuffisance des moyens humains et matériels provoque les communes à faire des coopérations avec des secteurs privés, cela est le cas de collecte dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algériens comme Mostaganem et Oran.

On trouve aussi plusieurs petites entreprises qui ont été créées participant dans la réutilisation des déchets triés où plus de 873 récupérateurs agréés au niveau national ont été recensés en 2008 (Sweep-net, 2010).

I.4.3. Secteur privé informel

En Algérie, ce secteur est composé d'individus, de familles ou des entreprises non enregistrés et qui travaillent sans autorisation. Leurs opérations sont en dehors du cadre réglementaire. Elles ne paient pas les impôts et ne respectent pas la législation de travail.

L'opération est effectuée par des récupérateurs ambulants qui trient et récupèrent les déchets recyclables dans les points de la pré-collecte, une fois les récupérés, les matériaux sont vendus à des acheteurs ambulants. Ou bien ils effectuent des tournées dans les quartiers pour acheter des déchets recyclables collectés par des individus à des prix inférieurs à ceux vendus dans les décharges.

I.5. Classification des déchets

L'article 5 de la loi algérienne 01-19 donne la classification suivante des déchets :

- Les déchets ménagers et assimilés;
- Les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux;
- Les déchets inertes.

Le décret n° 06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets industriels, y compris les déchets spéciaux dangereux dans son Article (2) constituée par des listes en annexe et une classification systémique (Voir annexe).

La classification la plus répandue à ce jour, c'est celle qui propose de séparer les constituants du déchet suivant les deux grandes catégories suivantes :

- ✓ par **leur origine** : déchets ménagers et assimilés, déchets industriels, déchets agricoles, déchets d'activités de soins et déchets radioactifs
- ✓ par **leur nature** : déchets inertes, déchets organiques, déchets banals, déchets toxiques ou dangereux et déchets ultimes.

I.6. Les déchets ménagers et assimilés

Parmi les types de déchets, nous nous sommes intéressés à l'étude des déchets ménagers et assimilés (DMA) pour les raisons évoquées précédemment.

I.6.1. Définition

Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers (Loi n°01-19)

I.6.2. Gisement des déchets ménagers

Le gisement des déchets est une étape essentielle pour effectuer une bonne gestion de ces déchets en utilisant des enquêtes sur terrain, des opérations de tri et des échantillonnages afin de caractériser ces déchets.

Selon les études faites par Bendjoudi et al. (2008), Parrot et al.(2009), Féniel et al. (2009); Guermoud et al. (2009) ; Abdelli et al. (2015) et Asnoune et al (2016) et autres études, cette étape a permis de :

- Estimer de la quantité des déchets produits,
- Calculer le ratio journalier des déchets par habitant
- Déterminer la composition physique des déchets
- Effectuer la caractérisation physico-chimique et microbiologique des déchets
- Définir la situation réelle de la collecte des déchets (modes, moyens, matériel,...)
- Faciliter le choix des équipements et des procédés de traitement

I.6.3. Ratio journalier

La valeur du ratio est une donnée qui permet de situer la production de déchet par habitant et par jour dans le but:

- (i) d'évaluer le degré de civilisation d'une nation,
- (ii) de mesurer l'importance de la production des déchets ménagers par personne pour élaborer le schéma (plan) directeur d'action pour une meilleure gestion,
- (iii) de connaître en temps réel l'évolution de la production afin d'agir immédiatement sur les anomalies et améliorer la gestion
- (iv) de dimensionner les équipements et les installations classées (CET,...)

La production mondiale de déchets ménagers a pratiquement doublé au cours des dix dernières années. Elle était de 1,3 milliard en 2010 (6,842 milliards habitants) et devrait doubler dans les quinze prochaines années pour passer de à 2,2 milliards de tonnes par an en 2025 avec une population qui pourrait atteindre 8 milliards d'habitants (fig.1). Ainsi, le ratio mondial de déchets ménagers qui était de 0,52 en 2010 passera à 0,75 kg/hab/j en 2025 (Hoornweg et al, 2012).

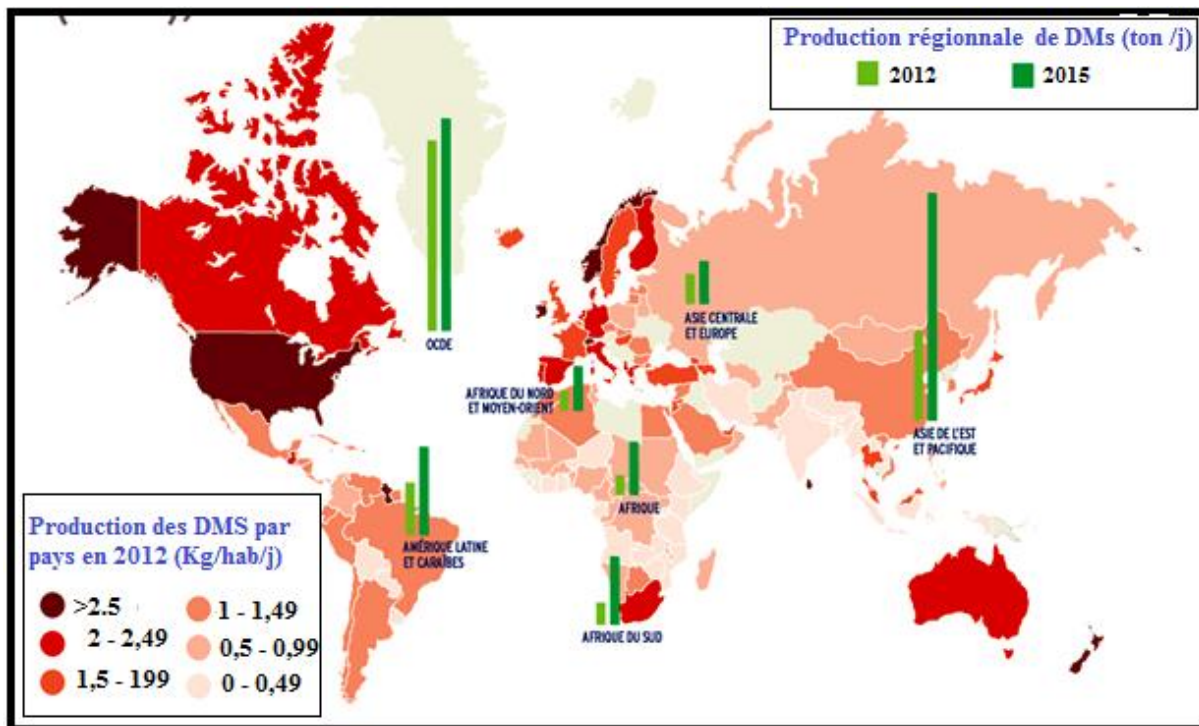


Figure 1. La production mondiale des déchets solides municipaux (2012-2015)

La quantité de déchets générés est souvent très hétérogène et variable suivant les pays, villes ou villages, les modes de vie et de culture et le niveau socio-économique.

L'écart entre la moyenne des déchets produits dans les Pays industrialisés (PI) et celle des Pays en développement (PED) est important. Cette moyenne est élevée et comprise entre 1,4 – 2.5 kg/hab/j dans les pays industrialisés (PI). Selon une étude faite par (Eurostat-News, 2011), la moyenne de production de l'Union Européenne (UE) est de 1.38 kg/hab/j, et la moyenne nationale du ratio aux Etats Unis dépasse 2,5kg/hab/j (Hoorweg et al, 2012), alors qu'elle est beaucoup plus faible dans les PED, 0.21-0.90 kg/hab/j (Charnay, 2005).

Cette production varie également d'une ville à une autre à l'intérieur d'un même pays, ou d'un quartier à l'autre à l'intérieur d'une même ville, souvent en fonction du niveau de vie des populations. Ainsi en France, alors que la moyenne nationale est de 1,44 kg/hab/j, elle est au voisinage de 1,51 kg/hab/j à Paris (Aina, 2006). Cette variation est aussi observée dans les PED. À titre d'exemple, la moyenne nationale en Algérie est de l'ordre de 0,50 kg/hab/jour, alors que dans les grandes villes le ratio peut atteindre 0,75 à 1 kg/hab/jour (Kehila, 2009). Dans une étude d'Ojeda-Benitez et al. (2008), portant sur la caractérisation des ordures ménagères à Mexicali (Mexique), les quartiers à haut niveau de vie produisent 26% de déchets supplémentaires par rapport aux quartiers d'habitat informels.

De même, l'hétérogénéité entre les saisons influe aussi sur la quantité moyenne des déchets, notamment lorsque les saisons sont très variées, par exemple à Yaoundé, au Cameroun, la moyenne passe de 0,6 kg/hab/j en saison sèche à 0,98 kg/hab/j en saison humide (Ngnikam, 2002).

Ainsi, on constate que la génération des déchets est fortement liée au revenu des pays. Autrement dit, plus le revenu d'un pays est élevé, plus le pays génère des déchets, le tableau 2 illustre ce principe.

Tableau 2. Production de déchets selon le niveau de revenu des pays (Chalmin, 2011)

Niveau de revenu	Nombre d'habitants	Quantité de déchets générés
Pays développés à revenu élevé	1 milliard	1,4 kg/habitant/jour
Pays en développement à revenu moyen	3 milliards	0,8 kg/habitant/jour
Pays à faible revenu	2,5 milliards	0,6 kg/habitant/jour

De la sorte, beaucoup d'études ont indiqué l'importance de mode de vie de la population, du type d'habitat, le niveau de revenu et les habitudes alimentaires et de l'influence des saisons sur la quantité et la qualité des déchets produits. Toutefois, la comparaison entre les différents ratios ne doit pas ignorer les différences relatives aux :

- (i) Périodes d'études,
- (ii) Méthodes d'évaluation du gisement,
- (iii) Lieux d'étude (à la source ou à la décharge),
- (iv) Echantillonnage
- (v) A la durée de l'étude. En fait, il n'y a pas de réelle normalisation, toute chose qui complexifie la comparaison.

I.7. Caractérisations de déchets ménagers

Il est nécessaire de connaître la composition des déchets et déterminer leurs caractérisation pour estimer les risques qui peuvent générer et de choisir le traitement adéquat de ces déchets.

I.7.1. Composition physique

Il existe plusieurs méthodes et études pour déterminer la composition physique des déchets qui sont basées sur l'échantillonnage et le tri manuel des déchets pour une zone ou un secteur donné. Parmi eux, on trouve la méthode de caractérisation des ordures ménagères (MODECOM), qui est la plus

utilisée au niveau mondial en proposant 12 catégories de constituants : fractions fermentescibles, papiers, cartons, textiles, textiles sanitaires, plastiques, verres, métaux, inertes, complexes, fines inférieures à 20 mm et autres.

La composition des déchets dépend de plusieurs facteurs : climat, saison, type de région, niveau de vie, situation géographique, niveau socio-culturel, tri à la source...

Les déchets des PED se caractérisent en général par une fraction fermentescible dépassant 45 % contre une valeur moyenne de 35 % dans les PI (Charnay, 2005). A l'inverse, la part de papiers, de verres et de matières plastiques est plus élevée dans les pays industrialisés, reflétant ainsi les modes de vie de la population. Si la proportion de verre varie de 1 à 5 % environ dans les PED (SWEEP NET, 2012) elle atteint 13 % en France et Italie (OCDE, 2008). Et ce, malgré la politique de récupération à la source dans ces pays, ceci est la preuve que cette dernière n'est que partiellement efficace.

Tirés de la revue bibliographique (SEEE 2004, SWEEP-Net 2010, Aloueimine2006, Vikash et al. 2007, Mehdi et al.2007, OECD2008, Pilgrim 2014), nous avons pu rassembler la composition physique moyenne de 52 pays que nous avons classés par continent (fig. 2)

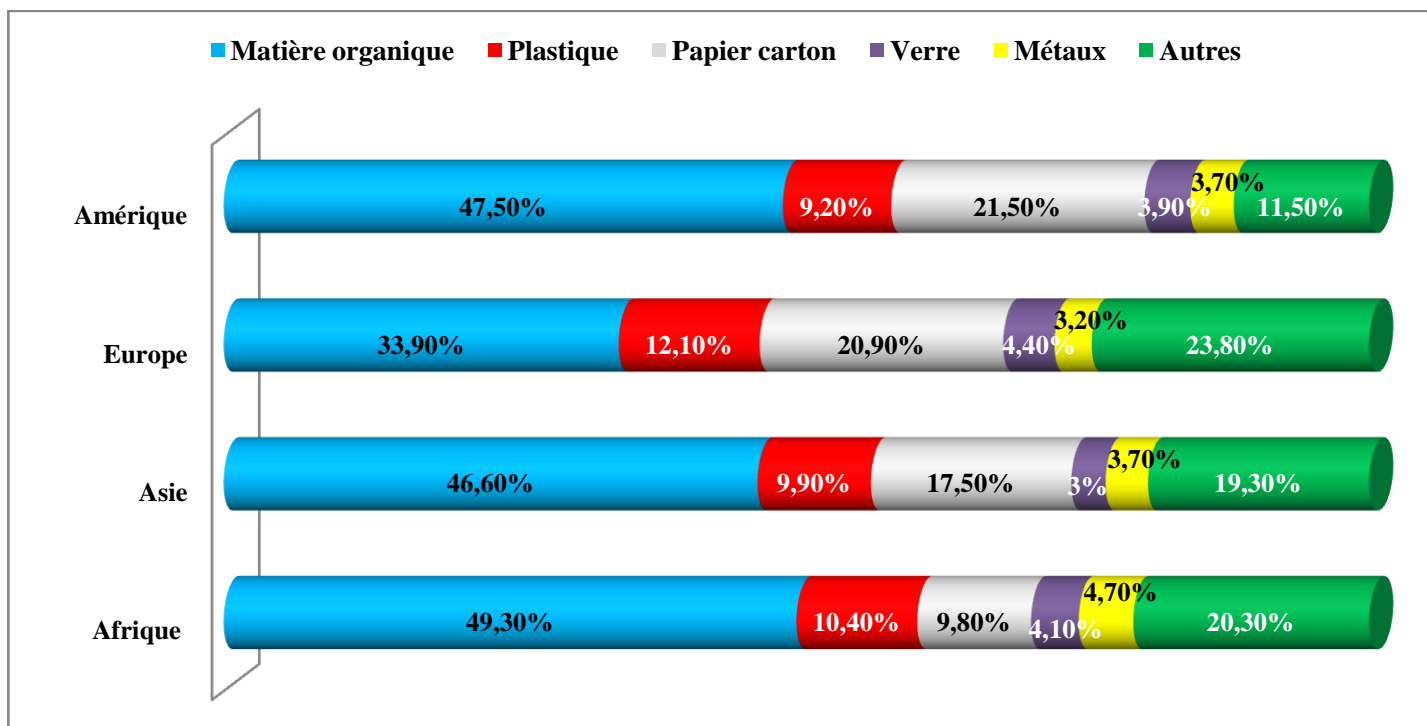


Figure 2. La composition moyenne des déchets ménagers par continent

La figure 2 montre que la matière organique est la moins produite au niveau de l'Europe (33,9%) suivis des pays d'Amérique, d'Asie et d'Afrique confirmant la différence dans le mode de nutrition et de consommation. Le niveau de culture, de communication et de publicité est vérifié par la

production de déchets en papier, puisque là aussi, nous retrouvons la séquence Amérique > Europe > Asie > Afrique.

Le plastique est plus rejeté par l'Europe et l'Afrique que par l'Amérique et l'Asie. Pas de différence notable pour le métal et le verre. La catégorie 'autres déchets' est faible en Amérique et de même ordre pour les autres continents. Ces résultats peuvent ne pas représenter la réalité des choses car des pays de niveaux différents sont intégrés au niveau de chaque continent.

I.7.2. Composition chimique

a. Densité

Elle varie selon la localisation géographique, la durée de stockage, les saisons (pluvieuses ou sèches) et même lors du passage de la source de génération des déchets au conteneur ou au camion (Tadesse, 2004). La densité est un facteur important dans le choix d'équipements et de construction d'installations classées et la méthode de collecte des déchets. Dans les pays industrialisés où la densité des déchets est basse (environ 100 kg/m^3), leur compactage permet d'augmenter leur densité tout en diminuant leur volume entraînant une rentabilité et une productivité plus importante des véhicules de collecte. Le mécanisme de compactage permet ainsi d'atteindre une densité de 500 kg/m^3 (Coffey et Coad, 2010).

Contrairement aux PI, les déchets des PED comportent une densité de 130 kg/m^3 pouvant atteindre 500 kg/m^3 (Charnay, 2005), leur teneur étant plutôt organique (entre 40 et 60 %), il ne nécessite pas de compaction, étant suffisamment denses.

b. L'humidité

Le degré d'humidité fait référence à la quantité d'eau contenue dans les déchets. Elle peut être exprimée de deux façons, soit en pourcentage du poids humide, soit en pourcentage du poids sec.

L'humidité est un paramètre déterminant pour fixer les conditions d'exploitation d'une décharge (Aina, 2006), le taux de dégradation d'un déchet (Berthe, 2006), ou les modes de traitement des déchets (Gachet, 2005), elle oriente souvent les choix de valorisation des déchets, tels que le compostage, la méthanisation ou l'incinération.

La teneur en eau est très importante pour la plupart des déchets des PED, dont les déchets sont riches en fruits, légumes et reste de nourriture. Elle est comprise entre 50 % et 95 %. Au Burkina Faso 40-60 % (Folléa et al. 2001), 60-75% au Liban (El fadel et al. 2002), alors qu'à Nouakchott en Mauritanie, elle ne représente que 11 % (Aloueimine et al. 2006 b) parce que la matière organique est récupérée au niveau des ménages et valorisée comme aliment de bétail et, par conséquent,

n'intègre pas le circuit municipal des déchets. Pour les pays développés, l'humidité ne dépasse pas les 35% (Charnay, 2005).

c. Matière Solide Volatile

La matière solide volatile (MSV) est un paramètre utile pour évaluer le potentiel organique polluant ou non des déchets (Lornage 2006, Aloueimine 2006). Il représente la fraction volatile obtenue par calcination de la matière organique totale (matière organique biodégradable (fermentescibles et papiers) et non biodégradable (plastiques)).

Le taux de MSV influe dans le choix du traitement des déchets. Une valeur élevée de MSV fait augmenter le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des déchets, il permet ainsi de confirmer une valorisation par incinération. Tandis qu'une valeur faible de MSV indiquerait une valorisation par compostage ou par méthanisation (Charnay, 2005).

d. Le rapport carbone /azote

Le rapport C/N représente le rapport entre le carbone organique et l'azote total. Il indique le potentiel humigène d'un produit et permet d'évaluer son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol. Plus ce rapport est élevée, plus la dégradation du produit est lente et génère un humus stable.

Il est également cité comme indicateur de la maturité des composts. Un compost mûr est celui dont le C/N est compris entre 18-20.

Néanmoins, la mise en évidence de vitesses de décomposition rapides pour des produits à C/N élevé ou une décomposition lente pour des produits ayant un C/N faible (< 15) ont démontré les limites d'utilisation de ce paramètre.

e. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Le PCI des déchets est aussi un paramètre nécessaire pour définir la faisabilité d'un traitement par incinération. Dans les PED, il est en moyenne assez faible, 1028 Kcal/Kg en Algérie (Guermoud et al. 2009) et de l'ordre de 1 000 Kcal/Kg au Maroc, Tunisie, Côte d'Ivoire et Colombie (Wicker, 2000), voire inférieur à 1 000 Kcal/Kg en Inde (Dayal et al. 1993). Mais il peut parfois s'élever à 2180 ou 2774 Kcal/kg respectivement pour la Malaisie (Kathirvale et al. 2003) ou la Mauritanie (Aloueimine et al. 2005 a et b). Ce PCI élevé est favorisé par une faible humidité et un taux relativement important de plastiques.

f. Métaux lourds

L'évaluation des quantités des métaux dans les déchets est nécessaire et permet d'évaluer leur potentiel polluant afin de prendre les mesures convenables pour diminuer leur impact sur la santé

des populations et sur l'environnement. Le tableau 3 présente les teneurs en métaux dans les déchets de certains pays.

L'apport des éléments traces métalliques dans les déchets ménagers varie en fonction des catégories qui composent le déchet et en fonction du métal considéré (Aloueimine, 2006, Mohan et al. 2009). On peut rencontrer ces traces sous différentes formes chimiques allant de la plus bio disponible (dissoute ou soluble dans l'eau) à la plus bio résistante (métal élémentaire) et cela en passant par des configurations intermédiaires (métaux complexés avec les matières fermentescibles ou piégés sous forme de sulfures métalliques) (Unlu et al. 2006).

Tableau 3. Les teneurs en métaux dans les déchets de certains pays

Pays	Teneurs en métaux lourds (mg/kg) / MS							Références
	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
Algérie (Alger)	50-55	-	200-245	-	300-365	503-552	276-360	Aina et al. 2006
Burkina Faso (Ouagadougou)	-	-	130-170	-	209-303	292-733	134-397	Aina et al. 2007
Mauritanie (Nouakchott)	14	228	54	-	64	183	53	Aloueimine et al. 2006 c
Tunisie	1,3-4,5	29-90	75-181	-	34-85	155-175	553-677	Hassen et al. 2001
Espagne	2	30	289	-	-	260	160	Garcia et al. 2005
France	4	183	1048	3	48	795	1000	François, 2004

Le Tableau 3 rapporte les valeurs caractérisant le potentiel polluant d'un déchet ménager. Cette pollution est d'origine diverse : organique, minérale et métallique ; elle est due, en grande partie, à des piles, des bouteilles d'aérosols, des ustensiles de cuisine, des peintures, de l'encre, des composants électroniques ou des emballages pour divers produits (boîtes de conserve, boîtes de lait et de jus, papiers, cartons, plastiques, etc.).

I.7.3. Caractérisation microbiologique

Les déchets sont riches en microorganismes, cela est due au milieu favorable à la prolifération de quelques microorganismes (supports organiques riches, températures, conditions d'aérobiose ou d'anaérobiose particulières).

Chapitre I

Revue bibliographique

Les microorganismes retrouvés varient quantitativement et qualitativement selon le type de déchet (DM, DAS, déchets verts,...) :

- Les bactéries Gram négatives où les concentrations en bactéries viables peuvent varier de 4×10^6 à 7×10^8 ufc/g de déchets (Rocord, 2003).
- Les virus pathogènes (coxsackie, rotavirus, échovirus, poliovirus, hépatites, HIV) sont retrouvés dans les couches jetables et des serviettes hygiéniques, ou des déchets issus d'activités de soins.
- Les champignons de type *Aspergillus* et *Penicillium* sont retrouvés dans les déchets organiques, ils sont colonisés après quelques jours de stockage
- Les levures, on retrouve surtout des *Candida albicans*.

Le tableau 4 montre les principaux microorganismes susceptibles de se retrouver dans les déchets ménagers (Schwartzbord et al., 1998).

Tableau 4. Les principaux microorganismes susceptibles de se retrouver dans les déchets ménagers (Schwartzbord et al., 1998).

	Microorganismes	Pathologie	Durée de vie
Bactéries entériques	Salmonella sp	Salmonellose	
	Shigella sp	Dysenterie bacillaire	<70 jours mais généralement
	Yersinia sp	Gastro-entérite	
	Campylobacter jejuni	Gastro-entérite	
Virus entériques	Escherichia Coli	Gastro-entérite	<20 jours
	Virus de l'Hépatite A et E	Hépatite infectieuse	
	Rotavirus	Gastro-entérite	<100 jours mais généralement
	Entérovirus	Gastro-entérite	
	Coxsackievirus	Poliomyélite	
Astrovirus	Infect respiratoire, Gastro-entérite,	<20 jours dans le sol	
Autres virus	Virus des Hépatites B et C	Hépatite infectieuse	
	Virus l'immunodéficience humaine acquise (HIV)	Hépatite infectieuse SIDA	Dans le sang ou les liquides humains 8jours
Parasites Protozoaires	Cryptosporidium sp	Gastro-entérite	
	Giardia intestinalis	Diarrhée	
	Entamoeba histolytica	Dysenterie	<20 jours mais généralement <10 jours
	Balantidium coli	Diarrhée et Dysenterie	
	Toxoplasma gondii	Toxoplasmose	
Parasites Helminthes	Ascaris lumbricoi des	Troubles gastro-intestinaux	
	Trichuris trichura	Diarrhée, douleurs abdominales	
	Toxocara sp	Diarrhée, douleurs abdominales	Plusieurs mois
	Taenia sp	Nervosité, Insomnie, Troubles digestifs, Anorexie	

I.8. La gestion des déchets ménagers

La réglementation algérienne (loi 01-19) définit la gestion des déchets comme «Toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations».

I.8.1. Naissance d'une science du déchet : la rudologie

L'étude des déchets nécessite des connaissances pluridisciplinaires (historiques, sociologiques, juridiques et économiques). Cette étude est devenue une science à part entière. Appelée « **la rudologie** », c'est une science propre aux déchets qui a été dénommée par Jean Gouhier dans les années 90. La rudologie est définie comme « *l'étude systématique des déchets et des espaces déclassés* ». Son rôle est de proposer des solutions, aux collectivités et aux entreprises, pour éliminer ou recycler leurs déchets sur la base d'une analyse de leur production faite en amont.

I.8.2. Le principe de la gestion des déchets

Les principes généraux de la gestion des déchets sont fixés par la loi n° 83-03 du 5 février 1983, le décret 84-378 du 15 décembre 1984 et la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001, relatifs à la protection de l'environnement. Ils définissent le déchet et les méthodes de son élimination et déterminent le ou les responsables chargés de cette élimination. Selon ces textes législatifs, la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets reposent sur les principes suivants:

- La prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source;
- L'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets;
- la valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage et toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie;
- Le traitement écologiquement rationnel des déchets;
- L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques.

I.8.3. Organisation du service de la gestion des déchets ménagers

La figure 3 présente le schéma classique de l'organisation de la gestion des déchets.

Nous allons aborder, ici, les différentes étapes de ce schéma et apporter quelques définitions.

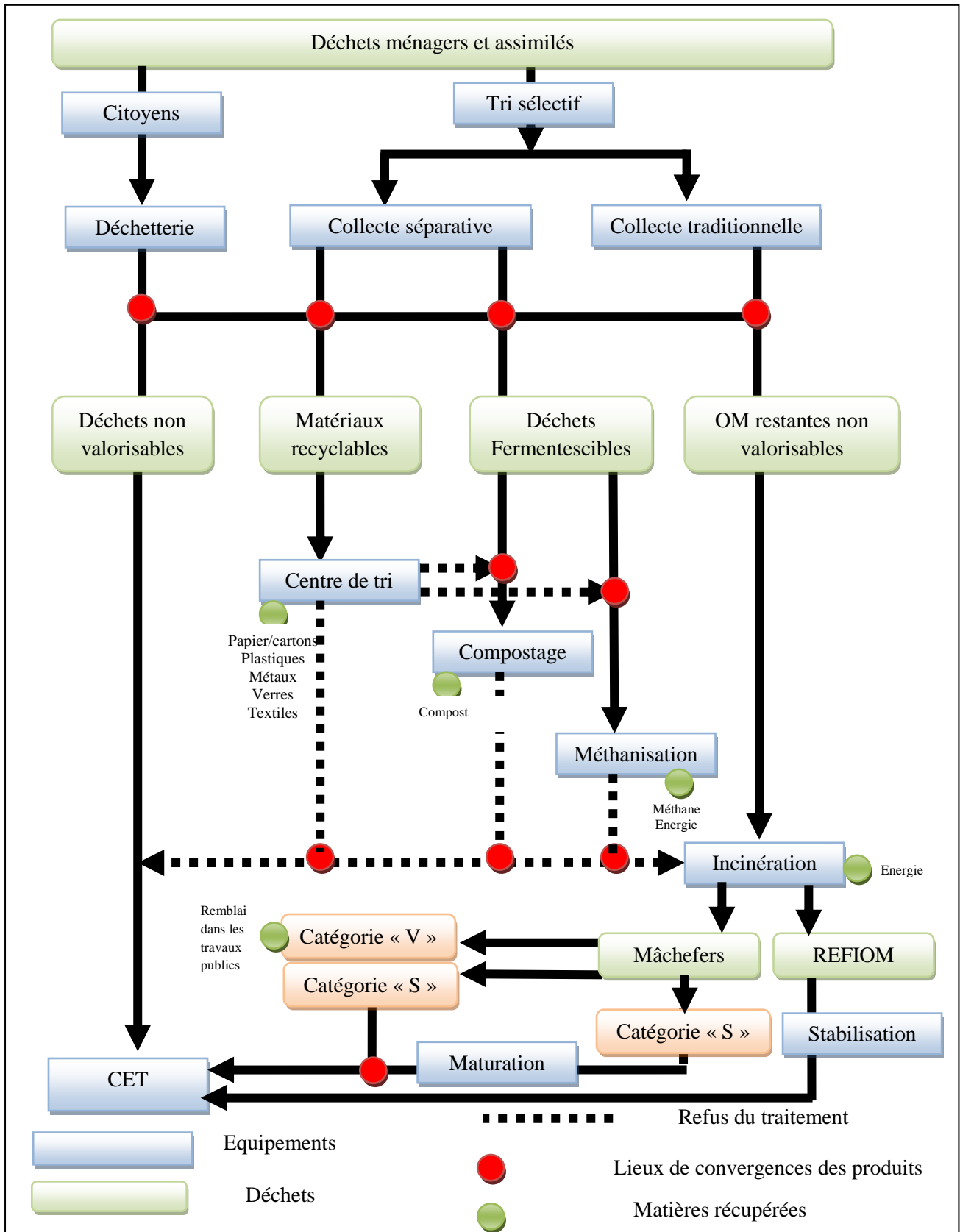


Figure 3. Schéma classique d'une gestion intégrée des déchets inspiré de Le Bozec, 2008.

I.8.4. Le tri chez le citoyen

La loi 01-19 définit le tri des déchets, toute opération de séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement. Cette opération implique chaque personne afin d'aider les entreprises et les acteurs de collecte de récupérer les déchets.

I.8.5. La collecte

La loi algérienne n° 19-01, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides, indique que : « l'assemblée populaire communale organise, sur son territoire, soit directement, soit en association par l'intermédiaire d'organismes intercommunaux et/ou appropriés, un service de collecte et d'élimination des déchets solides urbains, à l'exclusion de certains déchets »

- Définition

La réglementation algérienne définit la collecte des déchets ménagers comme : « le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement ». Elle consiste, en général, à déplacer plusieurs fois par semaine dans toutes les rues d'une ville, des véhicules adaptés capables de charger les déchets déposés dans des poubelles sur les rues, et de les transporter ensuite en un lieu déterminé où ils seront traités ou éliminés (un centre de transfert, un centre de tri, de traitement ou un CET).

La collecte dépend de certains paramètres, à savoir:

- (i) la production d'ordures ménagères par habitant,
- (ii) le temps de collecte par habitant
- (iii) la nature et densité des ordures ménagères.

- Mode de collecte

Avant de passer à l'opération de collecte, des caissons sont placés dans les quartiers et les habitants y évacuent leurs déchets pour que le véhicule vienne les vider régulièrement.

La collecte s'effectue en deux méthodes :

a. Apport volontaire en conteneurs

L'apport volontaire (A.V) est le dépôt des déchets par le générateur lui-même (les habitants) vers un conteneur ou un endroit où le service de collecte pourra les enlever.

Dans les PED, l'apport volontaire (A.V) est le mode de collecte le plus répandu, il s'agit du dépôt des déchets par la population elle-même dans des poubelles qui sont ensuite acheminées vers les filières de valorisation.

b. Porte à porte

Le mode P.A.P est le plus appliqué dans les PI dont le ramassage des déchets ménagers s'effectue par des moyens lourds devant chaque habitation ou à proximité pour être collectés au centre de tri puis ensuite traités selon le mode de traitement.

Cette méthode se fait soit par des moyens lourds (bennes tasseuses et camions Roll-On, camions spécialisés ou des tracteurs), soit par des moyens légers (charrettes manuelle ou motorisée).

Chacun de ces deux modes a des avantages et inconvénients. Par exemple, l'AV présente l'avantage de faire participer la population avec un investissement moyen mais il résulte un faible taux de collecte (limité de containers, faible distance à parcourir, irrégularité des fréquences de collecte).

Le mode de collecte PAP donne une efficacité de collecte avec une propreté des quartiers surtout les quartiers administratifs et touristiques. Cependant, ce mode nécessite un coût élevé (fonctionnement et réparation) ainsi que des fois les conducteurs rencontrent des conditions de travail difficiles dans certains points de collecte.

C'est pour cela, les responsables de la gestion doivent prendre en compte les conditions favorables de leur ville pour choisir le mode de collecte le mieux adapté.

- *Moyens de collecte*

a. Moyens légers : le type et la taille de collecte doivent être choisis selon les besoins des utilisateurs, le système de collecte et les véhicules de collecte. Les plus utilisés sont : les sacs à ordures, les bacs roulants, les conteneurs et les poubelles.

b. Moyens lourds : il existe une grande variété de véhicules de collecte et d'options sur les équipements. On donne quelques exemples, du plus simple au plus développé :

- Moyens à traction animale
- Petites bennes
- Tracteurs agricole avec remorque à benne
- Camion de collecte avec tasseuse
- Camion de collecte avec carrosserie fermée et compression des déchets
- Camion de collecte avec équipement hydraulique de chargement et de compression
- Camion pour collecte sélective muni d'une grue pour l'enlèvement de conteneur spécialisé
- Camion à caissons amovibles équipés de leviers à vérins servant au transport et à la mise en place des caissons.

- *Coût de la collecte*

Le coût de collecte est dépendu de plusieurs facteurs : le nombre de population, la capacité des équipements utilisés, le circuit de la collecte et le volume de déchets collectés. Cependant,

l'estimation des coûts réels est souvent mal évaluée ou plusieurs dépenses supplémentaires sont oubliées.

Dans le but d'avoir une collecte optimisée à moindre coût avec réduction des G.E.S, plusieurs études d'optimisation ont été entreprises en tenant compte de l'ensemble de paramètres et contraintes inhérents à la collecte.

A titre exemple l'étude de Abdelli 2016, où les résultats montrent un gain de 20 à 40% du coût de la collecte des DM dans la ville de Mostaganem, avec une réduction de 70% des GES. Ces améliorations sont dues, d'une part, à la construction du centre de transfert et, d'autre part, à la diminution des rotations de vidange, suite à l'augmentation de la capacité des camions à 12m³.

I.8.6. Le centre de tri

L'opération de tri consiste à séparer et récupérer les déchets. Elle permet de leur donner une seconde vie. Cette action se fait dans un centre de tri mécanisé ou manuel où l'on sépare les différents matériaux selon leur traitement. Il doit être organisé avec une structure en personnel (gardien d'accueil, chiffonniers) et matériel (pont bascule, une presse à balle) pour avoir un lieu bien organisé.

I.8.7. Le traitement

La nouvelle notion à appliquer dans la gestion des déchets est basée sur le principe connu sous l'appellation des **3R-VE** avec par ordre de priorité:

- ✓ **La Réduction à la source** : réduction de la quantité de déchets ou élimination des déchets à l'endroit même où ils sont générés. D'une part, elle s'applique aux entreprises fabricantes pour réduire la masse des matières nécessaires et la conception de produits qui permettent de faciliter leur réutilisation, et d'autre part, elle s'adresse aux consommateurs pour les sensibiliser en suivant une consommation modérée et raisonnable.
- ✓ **Le Réemploi ou récupération** : elle consiste à continuer d'utiliser le même produit (déchet) sans modifier son usage initial.
- ✓ **Le Recyclage** : le recyclage est un procédé de traitement des déchets qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.
- L'objectif essentiel du *recyclage* et du *réemploi* des déchets est de maintenir le plus longtemps possible les matières dans le circuit économique pour réduire la consommation des matières premières.
- ✓ **La Valorisation** : la réglementation algérienne (loi 01-19) définit la valorisation comme toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets. Elle consiste à une

dégradation de la matière organique pour récupérer et valoriser l'énergie lors du traitement des déchets sous forme de chaleur, d'électricité ou de carburant. Il existe deux types de valorisation:

a. Valorisation matière (compostage)

C'est une méthode de traitement biochimique qui consiste à décomposer les matières putrescibles sous l'action des microorganismes aérobies (en présence de l'oxygène) dans le but d'obtenir un matériel organique riche en humus appelé *compost*.

Le compostage apparaît comme la solution la mieux adaptée aussi bien pour les villes des PED que celles des PI en raison de son faible coût ainsi que la proportion importante de matières fermentescibles contenues dans les déchets de ces villes.

b. Valorisation énergétique

b.1. La méthanisation

La méthanisation est une biodégradation anaérobie (en absence de l'oxygène) de la matière organique et succession d'étapes biochimiques réalisées en absence d'oxygène conduisant à la formation du biogaz ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$). L'ensemble peut être résumé par l'équation suivante :



b.2. L'incinération

L'incinération est une technique de traitement des déchets ou d'une fraction de ceux-ci par combustion à haute température en présence de l'oxygène de l'air de la phase organique dans des fours spéciaux adaptés aux caractéristiques des déchets (hétérogénéité, pouvoirs calorifiques variables). L'incinération est couramment utilisée pour l'élimination des ordures ménagères et les usines d'incinération modernes sont conçues pour récupérer l'énergie. En effet, la chaleur générée par l'incinération fait l'objet d'une valorisation énergétique (production d'électricité et de chaleur) dans la plupart des unités.

✓ **L'Élimination**

L'élimination est la dernière étape dans la gestion des déchets. Elle comporte toutes les opérations de traitement thermique, physico-chimique et/ou biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet (Article 03 de la loi 01-19).

Longtemps, le mode d'élimination des déchets consistait à entasser les déchets solides dans un terrain et attendre que le temps fasse son œuvre. Aujourd'hui, les installations d'élimination de déchets appelées : Centre d'Enfouissement Technique par abréviation CET, sont devenues de véritables sites industriels, soumis à une réglementation stricte et faisant l'objet de règles rigoureuses

de conception, d'exploitation et de surveillance. Le CET peut également évoluer vers la production énergétique sous forme de biogaz produit lors de la fermentation anaérobie de la matière organique contenue dans les déchets ménagers.

I.8.8. Modes de gestion économique des déchets ménagers

Le choix d'un mode de gestion des déchets dépend de plusieurs indicateurs en citant : le contexte local de la ville, les ressources disponibles et les orientations sociopolitiques (Gbédo 2010). Le tableau 5 présente les caractéristiques des trois modes de gestion des déchets solides ménagers

Tableau 5. Caractéristiques des différents modes de gestion des déchets solides ménagers (Topanou, 2012)

Mode de gestion	Caractéristiques	Observations	Références
Gestion directe en régie	Le secteur public a en charge le service de collecte des déchets	Les responsables locaux conservent le pouvoir de décision sur ces activités.	Folléa <i>et al.</i> 2001
Gestion déléguée	- Association du secteur public et du secteur privé. - Délégation d'une partie de ses pouvoirs à des entreprises privées par le secteur public en accordant un droit d'exercice à toute entreprise participant à la gestion des déchets	Les structures multinationales et internationales ont la main mise sur le marché. La rentabilité peut devenir un critère de gestion avant les orientations environnementales et sociales.	Adefemi <i>et al.</i> 2009
Gestion Communautaire	Les différentes associations de quartiers et leurs représentants forment avec les organisations non gouvernementales (O.N.G), la partie communautaire de la gestion des déchets solides ménagers	Implication de la population dans la gestion de ses déchets. Ce système favorise le développement des petites structures locales. Ceci est essentiellement observé dans les PED.	Post, 1999, Gbedo, 2010

I.9. Optimisation de la gestion des déchets ménagers

Dans le domaine des déchets ménagers, l'objectif est de toujours concevoir un système optimal intégré de leur gestion, où les termes «optimal» et «intégré» se réfèrent généralement à une

combinaison entre les déchets et les techniques de traitement, de valorisation et d'élimination qui, souvent, visent à avoir le plus bas coût de gestion lorsqu'il est combiné.

L'objectif de l'optimisation est de mettre en évidence des leviers d'actions à court, moyen et long terme visant à l'optimisation du service déchets (collecte, transfert et traitement) par:

- La réalisation d'un bilan global du service : étude des coûts et caractérisation des déchets
- La mise en évidence des leviers d'optimisation
- L'étude des scénarios en vue d'une meilleure maîtrise des coûts de gestion des déchets.

Les études sur l'optimisation de la gestion des déchets solides ont commencé dans les années 70 par Clark (1970), Helms et Clark (1971), et Esmaili (1972). Ils ont proposé des modèles pour déterminer l'emplacement des installations de traitement, les capacités et les modèles d'expansion. Ainsi, plusieurs modèles concernant cette gestion ont été formulés par l'application de diverses méthodes d'optimisation. Ces modèles peuvent être classés en deux groupes :

- (i) les modèles d'ingénierie de système (SE)
- (ii) les modèles d'évaluation du système (SA) (Pires et al, 2011).

Les modèles (SA) peuvent être utilisés pour analyser les performances d'un système de gestion des déchets existants l'évaluation du cycle de vie (ACV), l'évaluation des risques et les analyses de flux de matières (Juil et al. 2013). Alors que les modèles (SE) se concentrent beaucoup plus sur la conception et la solution d'un système de gestion des déchets, en se basant sur des modèles multicritères décisionnels, des modèles de simulation, des modèles de prévision, l'analyse coûts-avantages, et les modèles d'optimisation (Pires et al., 2011).

Différents types de programmations ont été mis en œuvre pour résoudre le modèle (SE), on peut citer :

- (i) Linear programming (LP). Par exemple, Münster et Meibom (2011, 2010), l'ont appliqué pour maximiser l'utilité économique des consommateurs d'énergie dans le Nord de l'Europe, Rathi (2007) l'a utilisé pour intégrer la meilleure méthode possible dans la gestion des déchets à Mumbai (Inde) en se concentrant sur le compostage.
- (ii) No-linear programming (NLP). Elle a été utilisée par Shadiya et al, (2012) et Chang et al., (1997) pour maximiser les profits, tout en minimisant les déchets par réduction à la source et optimiser les stratégies de gestion des déchets à court terme en se basant sur le coût, l'énergie et les matériaux de récupération.
- (iii) Mixed integer linear programming (MILP). Elle a été appliquée par Badran et El-Hagggar (2006) pour optimiser la gestion des déchets solides, minimiser les coûts de collecte et de transport des déchets à Port-Saïd (Egypte).

(iv) Stochastic programming. Elle a été utilisée par Guo et Huang, (2009b), pour minimiser les coûts de l'expansion des capacités et des flux de déchets.

(v) Hybrid model. Il a été appliqué par (Xu et al, 2010 ; Li et Chen, 2011 ; Chang et al, 2012) a pour évaluer des scénarios complexes de gestion de MSW à travers un monde réel.

(vi) Fuzzylogic model. Celui-ci a été utilisé dans une nouvelle approche de planification durable pour le recyclage des déchets pour répondre aux meilleurs intérêts de durabilité d'une société de recyclage par Yeh and Xu (2013).

CHAPITRE II
MATERIEL ET METHODES

II. Matériel et méthodes

La caractérisation du gisement de déchets a pour objectif de fournir des informations globales sur la matière solide des déchets ménagers. Dans notre étude, elle comprend des caractérisations physico-chimiques et microbiologiques.

II.1. Caractérisations physique

II.1.1. Composition physique

Dans notre étude, la composition physique des déchets est déterminée selon la méthode de quartage de Gillet (1985), ceci nécessite un tri manuel sur une quantité globale de 400kg.

Le tri a été effectué sur une aire en béton au niveau des CET étudiés à partir des camions pris aléatoirement. L'opération a été répétée plusieurs fois pour avoir un échantillonnage représentatif.

La composition a été réalisée par catégorie : matière organique, papier carton, plastique, métaux, textile, verre, et autres (céramique, caoutchouc, bois, etc.). Pendant l'opération chaque catégorie a été placée dans des sacs en plastique. A la fin du tri, la pesée a été effectuée séparément pour chaque catégorie.

II.1.2. Densité

Le calcul de la densité est estimé par le remplissage d'un récipient de 20 litres qui est pesé vide, puis rempli avec un échantillon avec et sans tassement. Les pesées sont effectuées avec une balance de précision $\pm 0,1g$.

Nous avons effectué de 20 à 25 essais selon les possibilités et le résultat obtenu est la moyenne des n pesées. La masse volumique est calculée selon la formule :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Avec :

ρ : masse volumique en kg/m^3

m: masse de l'échantillon en Kg ;

V: volume de l'échantillon en m^3 .

II.2. Caractérisation chimique

II.2.1. L'humidité et la matière sèche

Dans le but de limiter les pertes de masse par évaporation, la détermination du taux d'humidité (H%) est effectué sur les échantillons le jour du prélèvement.

La méthode utilisée a consisté à sécher une masse de $100 g \pm 0,1$ à $105^\circ C \pm 2$ dans une étuve pendant 24 heures jusqu'à la stabilisation de la masse (NF U 44-171 d'Octobre 1982).

Le taux d'humidité est déterminé par la différence entre le poids de l'échantillon avant et après séchage selon la formule suivante :

$$H\% = [M_0 - M_1] \times 100/M_0$$

La matière sèche (MS%) est le taux complémentaire du degré d'humidité.

$$MS = 100 - H\%$$

Soit :

M_0 : masse de l'échantillon brute (g)

M_1 : masse de l'échantillon après passage à l'étuve (g)

MS% : taux de matière sèche contenu dans l'échantillon

H% : taux d'humidité contenu dans l'échantillon

II.2.2. Conductivité

La détermination de la conductivité est estimée en mettant 1g d'échantillon dans un bécher dans lequel un volume de 20 ml d'eau distillée est ajouté. L'ensemble est agité pendant 5 minutes pour que la solution soit homogène. La conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre.

II.2.3. Potentiel hydrogène (pH)

La détermination du potentiel hydrogène (pH) est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme NF ISO 10-390 de Novembre 1994.

La méthode consiste à mettre une masse de 20 g de matière sèche (1mm de diamètre) en solution dans 100 ml d'eau distillée. La suspension est homogénéisée par agitation magnétique pendant 15 minutes. La mesure de pH ($\pm 0,1$ unité pH) se fait directement par lecture sur un pH-mètre à électrode combinée.

II.2.4. La teneur en matière organique

Pour la mesure de la teneur en matière organique, nous avons suivi la norme NF U 44- 160 de novembre 1985 qui consiste à calciner une masse de 25g (0.25mm de diamètre) à 550°C pendant 2 heures dans un four Carbolite modèle GWF 1200. Les analyses sont doublées pour une bonne représentativité.

La teneur en matière organique totale (MOT%) ou en solide volatil est obtenue par différence de pesée entre la masse du déchet sec (105°C) et la masse du déchet calciné (550°C).

$$MOT\% = \frac{[M_s - M_c]}{M_s} \times 100$$

Avec :

MOT % : taux de matière organique dans l'échantillon sec,

M_s : masse de l'échantillon après passage à l'étuve à 105°C

M_c : masse de l'échantillon après calcination.

II.2.5. La teneur en carbone organique

La teneur en carbone organique est déterminée directement par oxydation humide suivant la méthode d'Anne (NF X 31-109).

Cette méthode consiste à oxyder le carbone organique contenu dans l'échantillon par la solution de bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès de bichromate de potassium (non réduit) est titré par un dosage volumétrique à l'aide d'une solution de sel de Mohr, dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert.

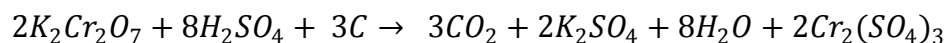
La quantité de bichromate réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique.

Nous avons effectué les étapes suivantes :

- i. Une masse de 0,05g de l'échantillon (0,25 mm de diamètre) est mise dans un ballon en verre pyrex de 250 ml, à col rodé adaptable sur une colonne réfrigérante. On ajoute ensuite 10 ml de solution aqueuse de bichromate de potassium à 8% et 15 ml d'acide sulfurique pur (H₂SO₄), cette étape est faite sous l'eau du robinet, car la réaction est exothermique.
- ii. Le ballon est placé sur une rampe chauffante raccordée au réfrigérant ascendant. Après la chute de la première goutte de condensation, nous poursuivons l'ébullition durant 5 mn.
- iii. Le contenu du ballon est transvasé dans une fiole jaugée de 100 ml et ajusté avec de l'eau distillée.
- iv. Un volume de 10 ml de la solution précédente est prélevé, ceci est versé dans un bécher auquel on additionne 200 ml d'eau distillée et quelques gouttes de l'indicateur de Ferroïne.
- v. L'excès de bichromate est titré à l'aide d'une solution de Mohr 0,2 N.

Au cours du titrage, la solution change successivement de couleurs ; jaune à jaune verdâtre puis rouge vineux.

Le taux du carbone organique peut être calculé en se basant sur la réaction globale suivante



Le taux de carbone C (%) est calculé par la formule suivante :

$$C\% = \frac{3 \times 10 \times T \times (Y - X)}{P}$$

Avec :

X : le volume en ml de solution de Mohr versés ;

Y : le volume en ml de solution de Mohr versé pour le dosage de témoin ;

P : le poids en g de l'échantillon ;

T : le titre de sel de Mohr.

II.2.6. La teneur en azote

L'azote Kjeldahl est mesuré selon la norme Afnor ISO 11261, juin 1995. Une masse de 0,1 g (séché à 105°C) est minéralisé pendant 1 heure à 180°C puis 2 heures à 360°C en milieu acide et en présence d'un catalyseur (K₂SO₄ et Se).

Les résidus obtenus après digestion sont distillés après neutralisation de l'excès d'acide par la lessive de soude 30%. Le distillat est récupéré dans un erlenmeyer avec de l'acide chlorhydrique (0,1M).

Le dosage réalisé avec de la soude (0,1M) et du rouge de méthyle permet de déterminer les teneurs en azote de l'échantillon.

La teneur en azote NTK est exprimée par :

$$N - NTK = \frac{(V_1 - V_0) \times 14 \times C \times 1000}{m} \quad \left(\frac{mg}{Kg}\right)$$

Avec

V_1 : volume de la solution de soude utilisé pour l'essai à blanc (mL)

V_0 : volume de la solution de soude utilisé pour le dosage de l'échantillon (mL)

C : concentration de la solution de soude utilisée lors du titrage (mol/L)

m : masse de la prise d'essai (g)

II.2.7. Nitrite et Nitrates

Pour effectuer les analyses des nitrites et des nitrates, nous avons préparé une suspension de déchets ménagers (10mm de diamètre) à 20 g/L avec de l'eau distillée, agitée pendant 20 minutes, puis laissée décanter une heure avant la réalisation de l'analyse. (Charney, 2005).

- **Les nitrites** sont calculés par la méthode du réactif Zambelli (Rodier, 1984):

On prélève 50 ml de l'échantillon à analyser et on ajoute 2 ml de réactif de Zambelli. On agite et on laisse reposer 10 min. On ajoute 2 ml d'ammoniaque pur puis on effectue la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 435nm, et la courbe d'étalonnage est donnée par le tableau 6.

Tableau 6. Courbe d'étalonnage (nitrites)

Numéro des fioles	T	1	2	3	4	5
Solution fille étalon à 0,0023g/l NO₂⁻ (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	50	49	49	40	35	30
Réactif de Zambelli (ml)	2	2	2	2	2	2

Après 10 minutes

Chapitre II

Matériel et méthodes

Ammoniaque pure (ml)	2	2	2	2	2	2
Correspondance (mg/l deNO₂⁻)	0	0,046	0,23	0,46	0,69	0,92

- **Les nitrates** sont déterminés par la méthode au salicylate de sodium (Rodier, 1984) :

On prend 10 ml d'échantillon à analyser, on ajoute 1ml de solution de salicylate de sodium. On évapore à sec dans un bain de sable, puis on laisse refroidir ; ensuite on ajoute 2 ml d'acide sulfurique concentré H₂SO₄. On attend 10min puis on ajoute 15ml d'eau distillée et 15ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium.

Enfin, on effectue la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 415nm.

La courbe d'étalonnage est donnée par le tableau 7.

Tableau 7. Courbe d'étalonnage (Nitrate)

Numéro des capsules	T	1	2	3	4
Solution étalon d'azote nitrique (5 mg/l) en ml	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Solution salicylate de sodium (ml)	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5

II.2.8. Rapport C/N

Le rapport C/N est calculé à partir des valeurs de C_{org} mesuré par oxydation et de la quantité d'azote N mesurée par la méthode NTK (NF ISO 11261).

II.2.9. Les métaux lourds

L'analyse des métaux lourds est faite selon le protocole mis en place par Ouddane (1990), pour la recherche des métaux lourds dans les sédiments. Ce protocole consiste à placer environ 0,2 g de déchets sec dans un réacteur en Téflon de 30 ml, préalablement nettoyées puis soumis à l'action d'acide concentré par chauffage successif dans un bloc chauffant (Hotblock).

- Premièrement, 10ml d'acide fluorhydrique (48% acide suprapur) sont ajoutés, l'attaque se déroule pendant 24 heures à 140°C permettant principalement la minéralisation des silicates, des aluminosilicates et des carbonates.
- deuxièmement, et après l'évaporation quasi-totale de l'acide fluorhydrique, 2 ml d'acide nitrique (Merck suprapur, 65 %) et 6 ml d'acide chlorhydrique (Merck suprapur, 33 %) sont ajoutés pour une minéralisation complète du solide à 120°C. En suite, 5ml d'eau Milli-Q sont ajoutés afin de solubiliser les métaux adsorbés sur les parois après l'évaporation de l'acide.

- Enfin, l'ensemble dilué avec de l'eau Milli-Q à un volume finale de 20ml. La solution est alors filtrée sur une membrane en acétate de cellulose (Swinnex, Millipore) de porosité 0,45 µm pour éliminer les particules de carbone restantes. Les minéralisations ont été réalisées en double, les écart-types calculés montrent en moyenne une bonne reproductibilité.

Ce protocole de minéralisation a été validé en effectuant l'attaque de sédiments standards certifiés (PACS, HISS et MESS) du Conseil National des Recherches du Canada.

II.3. Caractérisation microbiologiques

II.3.1. Préparation de l'échantillon

On mélange 10 grammes de déchets ménagers coupés en petits morceaux avec 90 ml d'eau tamponnée, ensuite on agite l'ensemble pendant une heure. On filtre le mélange afin d'obtenir une solution représentant le mélange de microorganismes dans notre échantillon.

Des dilutions décimales ont été faites avant de passer à l'analyse sachant que ces étapes sont effectuées dans la zone d'asepsie (CEAEQ, 2011).

II.3.2. Recherche des staphylocoques pathogènes (Norme XP-T 90-412)

On effectue une filtration de l'échantillon sur une membrane cellulosique 0,45µm, cette dernière est déposée sur le milieu de culture spécifique Chapman. On incube à 37°C pendant 24 heures et si besoin 48 heures. Les souches de staphylocoques sont de taille importante et de couleur jaune. La confirmation de l'espèce est faite par l'utilisation de la galerie API (Appareillage et Procédé d'Identification).

II.3.3. Recherche des entérocoques (Norme NF ISO 7899-1)

Cette recherche se pratique en deux étapes :

- test présomptif sur bouillon de Rothe,
- test confirmatif sur bouillon de Litsky.

Milieu simple concentration : on introduit 1 ml de l'échantillon et ses dilutions décimales dans des tubes à essai contenant 10 ml du milieu Rothe simple concentration stérile.

Milieu double concentration : on introduit 10 ml de l'échantillon dans un tube à essai contenant 10 ml du milieu Rothe simple concentration stérile.

On incube les tubes à 37°C pendant 24 à 48 heures. Les tubes positifs présentent un trouble. Ceux-ci seront obligatoirement soumis au test confirmatif sur bouillon de Litsky.

II.3.4. Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs et leurs spores (Norme Afnor NF EN 26461-1, ISO6461-1)

On prépare d'abord le milieu de culture avant de passer à l'inoculation et l'incubation. Dans un bain Marie, on place quatre tubes contenant 20 ml de gélose de viande de foie.

Chapitre II

Matériel et méthodes

Après fusion de la gélose, on laisse refroidir jusqu'à 55°C puis on ajoute 1ml de solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer. On mélange sans faire de bulles.

Pour la recherche des Clostridium sulfito-réducteurs, on répartit dans quatre tubes stériles 5 ml de l'échantillon puis on fait couler dans chaque tube le contenu d'un tube de milieu. On mélange doucement et on le fait refroidir sous l'eau du robinet. On incube à 37°C. On fait une lecture après 24 heures puis une deuxième après 48 heures.

Pour la recherche des spores, après avoir détruit la forme végétale par le chauffage de 20 ml de l'échantillon en bain Marie à 80°C pendant 10 minutes, on refroidit l'échantillon rapidement sous l'eau du robinet à 55°C. Puis on suit les mêmes démarches que celle de la recherche des Clostridium sulfito-réducteurs.

II.3.5. Recherche de Campylobacter jejuni (Norme ISO 17-995)

Après filtration de l'échantillon sur la membrane cellulosique 0,45µm, elle est déposée sur la gélose Skirrow et on incube en jarre anaérobie pendant 16 heures à 43°C. Après 16 heures, on enlève la membrane et on prolonge l'incubation pendant 3 jours. Les colonies seront identifiées par l'usage de la galerie API.

II.3.6. Recherche de salmonella spp (Norme NF EN ISO 6579)

La recherche de salmonella spp s'effectue en quatre étapes : pré-enrichissement, enrichissement, isolement et identification.

Pré-enrichissement : on mélange 10 ml de l'échantillon avec un volume 10 fois plus que le volume de l'échantillon d'eau peptonée tamponnée simple concentration. On incube le bouillon ensemencé à 37°C pendant 16 heures au moins et 20 heures au plus.

Enrichissement : on introduit 1ml du bouillon de pré-enrichissement dans 20 ml du milieu d'enrichissement (cystine-sélénite ou Rappaport-Vasiliadis et le bouillon au tétrathionate) et on incube à 37°C pendant 48 heures.

Isolement : à partir du bouillon d'enrichissement, on effectue un isolement sur des géloses spécifiques : gélose S-S (Salmonella-Shigella), gélose Hektoen, gélose au sulfite de bismuth ou gélose lactosée au vert brillant et rouge de phénol.

Identification: l'identification est réalisée par la galerie API.

II.3.7. Recherche de Yersinia enterocolitica

On procède à un ensemencement de l'échantillon sur le milieu Mac Conkey. On incube en jarre anaérobie à 37°C pendant 24 heures ensuite à température ambiante pendant 24 heures. Il est préférable d'incuber à basse température pour favoriser la croissance des Yersinia enterocolitica par

rapport aux autres genres des Enterobacteriaceae ou d'autres familles. On identifie l'espèce par l'utilisation d'une galerie d'API.

II.3.8. Recherche des coliformes totaux (Norme NF V 08-050)

La recherche des coliformes totaux consiste en un ensemencement en profondeur de l'échantillon selon la méthode de routine NF V 08-050. Après fusion du milieu spécifique : la gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL), on laisse refroidir et on maintient le milieu à 44-47°C. On transfère 1ml de l'échantillon et ses dilutions dans une boîte de Pétri stérile. On coule 12 ml de la gélose, on homogénéise parfaitement et on laisse refroidir sur une surface froide. Une fois solidifié, on fait couler 4ml de la gélose pour former une deuxième couche. On laisse refroidir et on incube à 30°C pendant 24 heures. L'identification est faite par la galerie API 20 E.

II.3.9. Recherche des coliformes fécaux (thermo-tolérants) (Norme NF V 08-060)

La recherche des coliformes fécaux s'effectue par un ensemencement en profondeur, le même mode opératoire que celui de la recherche des coliformes totaux sauf à la température d'incubation qui est à 44,5°C.

II.3.10. Recherche des germes fécaux (Norme NF EN ISO 4833)

La recherche des germes fécaux consiste à la recherche de l'ensemble des germes d'origine fécale contenus dans l'échantillon. 01 ml de l'échantillon et ses dilutions sont transférés dans une boîte de Pétri stérile. On coule 14 ml de la gélose nutritive fondue et refroidie. On homogénéise le contenu par un mouvement rotatif vertical. On laisse refroidir sur une surface froide. On coule une deuxième couche de la gélose (4 ml) et on laisse se solidifier. On incube en position retourné pendant 72 heures à 30°C.

CHAPITRE III
GESTION DES DECHETS MENAGERS DANS
QUELQUES VILLES DE L'OUEST ET SUD
OUEST ALGERIEN

III. Gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

III.1. Présentation de la région d'étude

La région d'étude est l'Ouest et Sud Ouest algérien qui comprend les wilaya du nord :Oran, Mostaganem, Ain Témouchent, Tlemcen, Mascara, Relizane, Saïda, Sidi Bel Abbès et Tiaret. Ces villes constituent, dans le sens traditionnel, l'Algérie tellienne, que l'on assimile souvent à l'Oranie et celles situées au Sud qui sont Naâma et Béchar.

Cette région est limitée, à l'Ouest par la frontière avec le Maroc, à l'Est par les wilayas suivantes de Chlef, Tissemsilt, Djelfa, Laghouat et El Bayedh, au Nord par la Mer Méditerranée et au Sud par Tindouf et Adrar. (Figure 4).

Le Nord de la région bénéficie d'un climat méditerranéen classique marqué par des hivers rigoureux à doux et une sécheresse estivale où les précipitations deviennent rares, voire inexistantes, alors que le Sud est caractérisé par un climat semi-aride.

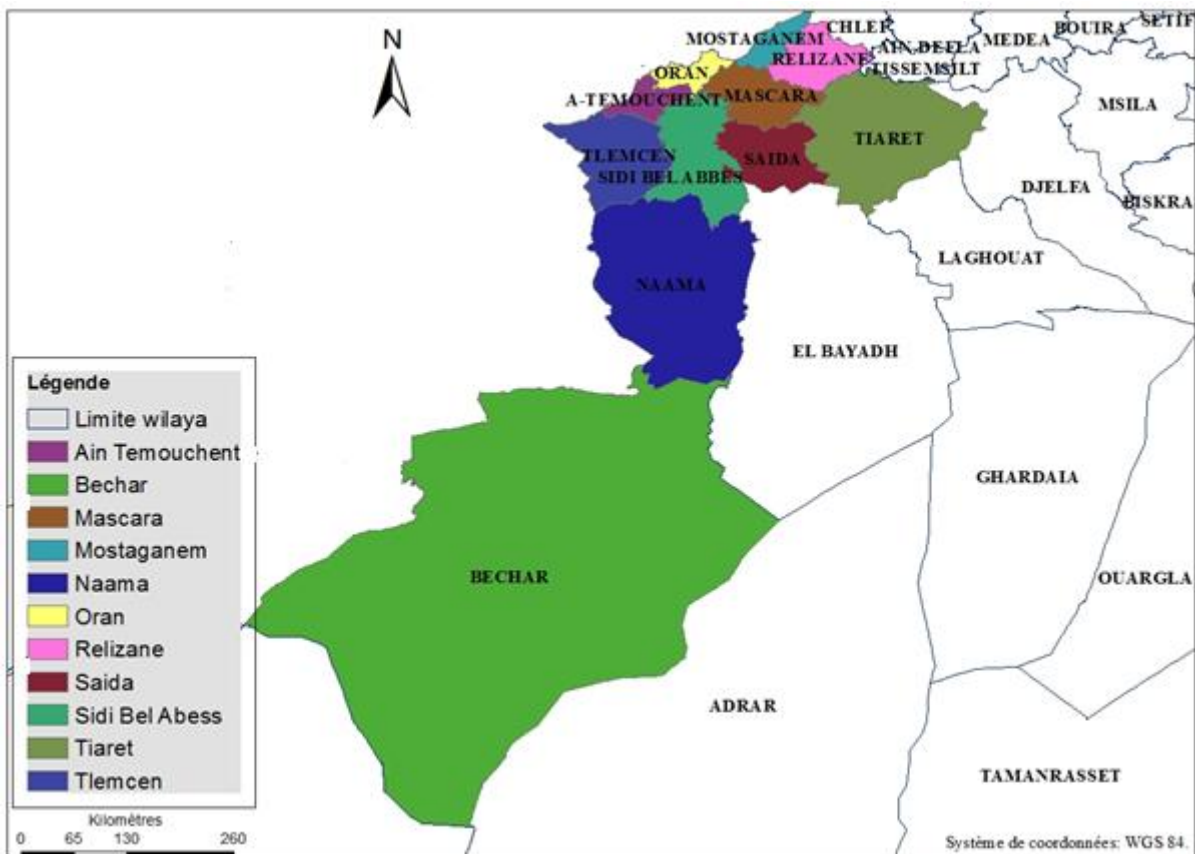


Figure 4. Localisation des villes étudiées sur la carte d'Algérie

III.2. Visite sur terrain des villes étudiées

Des visites effectuées sur terrain ont permis d'avoir un aperçu général sur l'état environnemental des villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien, d'observer le cadre de gestion des déchets dans le but de collecter et créer une banque de données des déchets ménagers dans ces villes.

D'entre les wilayas concernées par les visites sur site, et dont l'étude précisera les données d'exploitation et de suivi, Tiaret, Mostaganem, Oran, Tlemcen, Relizane, Ain Témouchent, Saïda et Naâma disposent d'un ou plusieurs centres d'enfouissement techniques (CET).

La wilaya de Naâma gère ses déchets de façon technique avérée, seulement, nous n'avons pas pu accéder à toutes les informations concernant la gestion des sites pouvant nous permettre de parfaire notre étude, et ce malgré nos correspondances aux autorités concernées.

La wilaya de Sidi Bel Abbès se singularise par une exploitation anarchique des sites bien qu'elle ait bénéficiée d'un centre d'enfouissement technique, alors que les wilayas de Béchar et Mascara n'ont pas encore bénéficié de CET et de ce fait, les déchets sont gérés anarchiquement et déposés dans des décharges sauvages. La figure 5 donne l'état et la localisation des centres d'enfouissement techniques dans les wilayas étudiées.

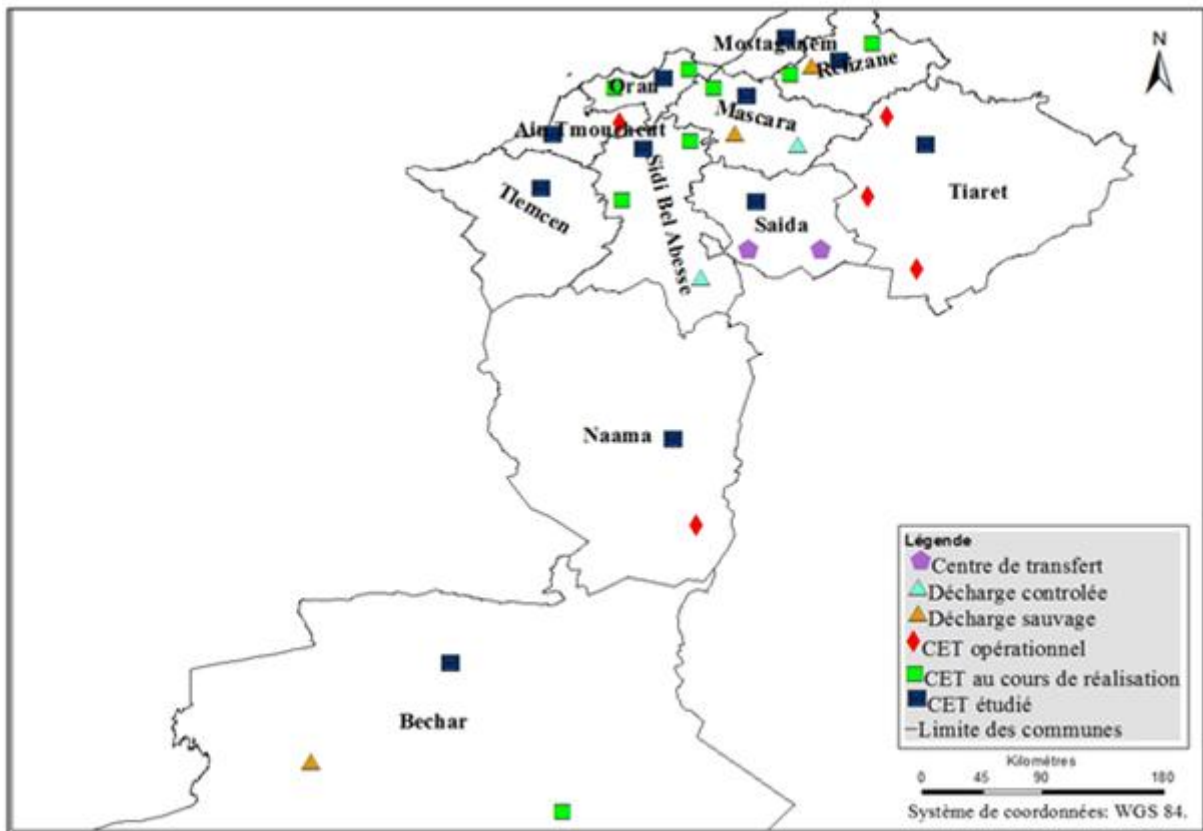


Figure 5. L'état et le nombre des C.E.T dans les wilayas étudiées

III.3. Mode de gestion des déchets dans les villes étudiées

Le gouvernement algérien a choisi les centres d'enfouissement techniques (C.E.T) comme mode d'élimination des déchets, et cela a conduit à la réalisation du 110 CET en 2011 pour atteindre 300 CET exploités en 2014 à travers les 48 wilayas du pays (Djamel, 2007).

Cette politique a permis aux villes étudiées de bénéficier d'un centre, ou plus, d'enfouissement techniques alors que dans d'autres villes, les CET sont en cours de réalisation.

Le tableau 8 présente les CET étudiés.

A noter que le CET de Mascara (chef lieux) n'étant pas encore exploité, nous avons étudié le CET de Mohamadia (à 35 km de la ville de Mascara)

Tableau 8. Présentation des centres d'enfouissement techniques étudiés

Wilaya	CET étudié	Date d'ouverture	Nombre de communes	Superficie (ha)	Casiers réalisés	Durée de vie du CET estimée.
Tiaret	Situé au lieu-dit " Sid El Abed ", sur la localité de la commune de Mellakou à 15 Km de la ville de Tiaret	Novembre 2008	05	28	02 casiers	20 ans
Mostaganem	Situé sur le territoire de la commune de Sour à 22 Km de la ville de Mostaganem	2011	06	15	02 casiers	10 ans
Oran	Situé au cité les Plâtrières commune de Hassi-Bounif - Daïra de Bir El Djir	Mai 2012	13	85	01 casier	20 ans
Ain Témouchent	Situé au lieu-dit " Sidi Mefteh ", sur la localité de la commune de Sidi Ben Adda à 03 Km de la ville de Ain Témouchent	Décembre 2011	06	20	01 casier	12 ans
Relizane	Situé dans la commune d'Oued-Djemaâ, à 11 Km de la ville de Relizane	2010	11	36	01 casier	24 ans
Tlemcen	Situé à Djebel El Hadid, commune de Chetouane à 07Km de la ville de Tlemcen	Mai 2010	11	25	01 casier	06 ans

Chapitre III

Gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Mascara	Situé dans la commune de Mohamadia, à 35 Km de la ville de Mascara	Juin 2012	04	15	01 casier	05 ans
Saïda	Situé sur la route nationale n°92 à 07Km de la ville de Saïda	Avril 2008	07	24	01 casier	06 ans
Sidi Bel Abbès	Situé sur la route de Zaroualaà à 03 Km de la ville de Sidi Bel Abbès	Aout 2010	06	24	01 casier	15 ans
Naâma	Situé à 28 km au Nord de Naâma, dans la localité de Touajer	Novembre 2010	02	23	01 casier	15 ans
Béchar	Situé à proximité de la route nationale n°6 à 9 Km au Sud de la ville de Béchar	/	/	/	décharge sauvage	/

Le principe d'exploitation des casiers utilisé dans les CET de Mostaganem et Tlemcen est basé sur la technique d'enfouissement en alvéoles sur une épaisseur de 1 mètre, puis compactés et ensuite recouverts de matériaux isolant (souvent de la terre). Les lixiviats sont drainés par des canalisations adéquates jusqu'aux bassins de décantation.

Pour les autres CET étudiés, l'enfouissement est effectué sur la totalité de la surface, où l'opération commence par un coin de casier jusqu'à l'extrémité opposée par couches successives qui doivent être étalées et compactées jusqu'à l'obtention d'une couche de 0,5m. Le compacteur passe de deux à cinq fois par couche, et enfin on couvre avec un matériau isolant, souvent de la terre. Il est recommandé de couvrir quotidiennement les nouveaux dépôts de déchets afin de limiter la prolifération des oiseaux, des mouches des moustiques et des rongeurs. De plus, le front de travail doit être réduit au maximum, tout en permettant la possibilité à plusieurs camions ou engins de manœuvrer simultanément. Les lixiviats sont drainés par des canalisations jusqu'aux bassins de décantation. L'inconvénient de cette méthode d'enfouissement est la saturation rapide des casiers.

III.4. Quantités des déchets ménagers reçues aux CET

L'évolution de la quantité générée dans la région d'étude est représentée par la figure 6 par année d'exploitation des C.E.T depuis leur exploitation jusqu'en 2015.

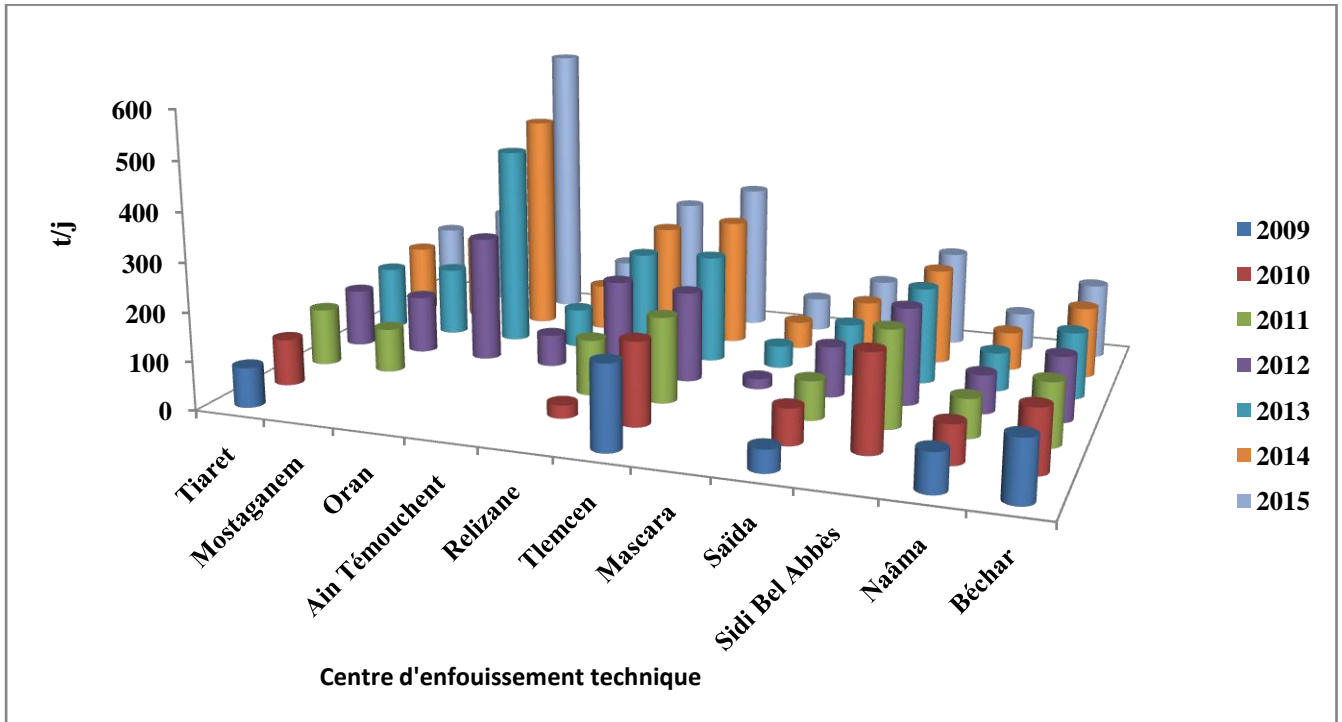


Figure 6. Quantité des déchets ménagers générée par année

On note que la quantité de déchets ménagers produits par chaque CET a montré une augmentation depuis leurs exploitation et en particulier pour la ville d'Oran. Si on compare entre les quatre dernières années (2012, 2013, 2014 et 2015), le taux d'évolution est donné par les séquences suivantes:

- **CET exploitables de janvier 2012 à décembre 2015 :**

Mostaganem: 16,4% > Ain Témouchent: 16,3% > Tlemcen: 15,1% > Relizane: 9,2 % > Tiaret: 8 % > Saïda: 5,1%.

- **CET exploitables de mai 2012 à décembre 2015 :**

La quantité des DM de CET d'Oran est passée de 262,3 t/j à 420,6 t/j avec un taux d'évolution de 37,6%, pour arriver à 459,7 t/j en 2014 (8,5% d'évolution) et atteindre 585 t/j en 2015 avec un taux d'augmentation de 21,4%. Cette production est parfaitement logique parce qu'il est à noter que ce CET est considéré comme étant le plus grand à l'échelle nationale. Etendu sur une superficie de 89 ha, il réceptionne les déchets ménagers produits par 13 communes de la wilaya d'Oran.

- **CET exploitables de juin 2012 à décembre 2015 :**

Chapitre III

Gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Le taux d'évolution au niveau du CET de Mascara est de 54,7% durant 2012-2013, cela est dû à la faible quantité reçue en 2012 car l'ouverture du CET a été tardive (juin 2012). Pour les années 2013, 2014 et 2015 le taux d'évolution est resté constant avec 18,2%.

Pour les CET de Sidi Bel Abbas, Naâma et Bechar, l'évaluation du poids des déchets a été effectuée au forfait.

III.5. Etude de l'évolution du ratio (kg/hab/j)

La valeur du ratio est une donnée qui permet de situer la production de déchet par habitant et par jour. Le tableau 9 présente les ratios des déchets au niveau des C.E.T étudiés.

Ces données ont été comparées à certaines villes algériennes, à des villes de pays en développement et des villes de pays industrialisés.

Tableau 9. L'évolution du ratio (kg/hab/j) dans les villes étudiées

		Tiaret	Mostaganem	Oran	Ain Témouchent	Relizane	Tlemcen	Mascara	Saïda	Total
2009	Population	335031	/	/	/	/	345564	/	192815	873410
	t/j	81	/	/	/	/	174,1	/	46,1	301,2
	Ratio kg/hab/j	0,24	/	/	/	/	0,50	/	0,24	0,34
2010	Population	341569	/	/	/	377895	349710	/	196388	1265562
	t/j	96,2	/	/	/	26,9	172,1	/	74,3	369,5
	Ratio kg/hab/j	0,28	/	/	/	0,07	0,49	/	0,38	0,30
2011	Population	348235	270 368	/	/	382808	353907	/	242428	1597746
	t/j	118,4	91,3	/	/	114,7	177,3	/	80,5	582,2
	Ratio kg/hab/j	0,34	0,34	/	/	0,30	0,50	/	0,33	0,36
2012	Population	355034	324 115	1299583	120973	387784	358154	120186	247314	3213143
	t/j	120,8	120,1	262,3	66,6	196,1	187,5	21,2	104,9	1079,5
	Ratio kg/hab/j	0,37	0,37	0,20	0,55	0,51	0,52	0,18	0,42	0,34
2013	Population	360256	329 348	1324275	140666	392825	362452	122349	252301	3284472
	t/j	131,8	143,7	420,6	81,5	218,1	225,2	46,8	108,6	1376,5
	Ratio kg/hab/j	0,37	0,44	0,32	0,58	0,56	0,62	0,38	0,43	0,42
2014	Population	367200	329936	1349437	160359	397932	366801	124551	257289	3353505
	t/j	143,2	174,9	459,7	96,4	240	266,1	57,2	115,8	1553,3
	Ratio kg/hab/j	0,39	0,53	0,34	0,59	0,60	0,72	0,46	0,45	0,46
2015	Population	374144	330524	1374599	180052	403039	371150	126753	262277	3422538
	t/j	154,6	206,1	585	113,5	262	307,4	70	123	1821,6
	Ratio kg/hab/j	0,41	0,62	0,42	0,63	0,65	0,82	0,55	0,47	0,53

D'après le tableau 9, on note une augmentation du ratio de déchets ménagers pour chaque CET depuis leurs exploitation. Si on compare entre les quatre dernières années (2012, 2013, 2014 et 2015), le taux d'augmentation est donné par les séquences suivantes:

- **CET exploitables de janvier 2012 à décembre 2015 :**

Mostaganem: 40,3% > Tlemcen: 36,6% > Relizane: 21,5 % > Ain Témouchent: 12,7% > Saïda: 10,6% Tiaret: 9,7 %.

- **CET exploitables de mai 2012 à décembre 2015 :**

Le ratio des DM de CET d'Oran est passée de 0,20 kg/hab/j à 0,32 kg/hab/j avec un taux d'évolution de 37,5%, pour arriver à 0,34 kg/hab/j en 2014 (6% d'évolution) et atteindre 0,42 kg/hab/j en 2015 avec un taux d'augmentation de 19%.

- **CET exploitables de juin 2012 à décembre 2015 :**

Le taux d'évolution du ratio au niveau du CET de Mascara est de 52,6% durant 2012-2013, cela est du à la faible quantité reçue en 2012 car l'ouverture du CET a été tardive (juin 2012).

Pour les années 2013, 2014 et 2015 le taux d'évolution est resté constant avec 17%.

A noter que les CET de Sidi Bel Abbes, Naâma et Bechar, l'évaluation du poids des déchets a été effectuée au forfait.

III.5.1. Etude comparative de la production des DM par rapport aux villes de pays en développement

Dans le but de situer les villes étudiées au niveau de la production des déchets ménagers, nous avons collecté les données de certaines villes algériennes, de villes de pays en développement et de certaines villes de pays industriels

- (i) **Villes algériennes** : le ratio moyen des villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien se classe pratiquement avec le ratio de la ville côtière de Annaba 0,48 kg/hab/j (Cheniti et al, 2013) et le ratio moyen national 0,50 kg/hab/j (Boukelia et al, 2012) et légèrement inférieur au ratio de certaine villes telles que Batna ; ville de l'intérieur 0,56 kg/hab/j (Sefouhi, 2012), Biskra ville du Sud 0,55 kg/hab/j (Mezouari, 2011). Par contre son gisement est nettement inférieur aux villes qui génèrent plus de déchets telles que la ville d'Alger 0,75 kg/hab/j (Kehila et al, 2009) et la ville de Sétif, intérieur du pays 0,89 kg/hab/j (Smati,

Gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

2012). Cette différence réside dans leurs activités industrielles et commerciales (les usines de transformation des matériaux, l'agro-alimentaire, l'électronique...).

- (ii) ***Villes de certains pays en développement*** : la production des DM de la région d'étude se situe pratiquement au même ordre que celui de New Delhi 0,50 kg/hab/jen Inde (Vikash et al, 2007), et une légère différence avec Marrakech (0,54 kg/hab/j) au Maroc (SEEE, 2004), Sanaa (0,60 kg/hab/j) au Yémen (SWEEP-Net, 2010), Sfax (0,60kg/hab/j) en Tunisie (Louati, 2012). Elle est nettement inférieure à certaines villes comme Fès (0,71kg/hab/j) au Maroc (SEEE, 2004), Beyrouth (0,74 kg/hab/j) au Liban (SWEEP-Net, 2010), Alexandrie (0,84kg/hab/j) en Egypte (SWEEP-Net, 2010), Souss (0,86kg/hab/j) en Tunisie (DDS, Tunisie), Abomey-Calavi (0,89kg/hab/j) au Benin (Topanou et al, 2011). Elle est supérieure à celle générée par la ville de Nouakchott 0,21 kg/hab/j en Mauritanie qui pratique depuis longtemps la valorisation de ses déchets à la source (Aloueimine, 2006).

Les forts ratios enregistrés pour certaines villes reflètent le caractère économique, industriel et touristique au Maghreb comme la Tunisie (premier exportateur d'Afrique en valeur absolue), le Maroc et l'Algérie.

Les villes de Moyen Orient (Egypte, Liban et Yémen) génèrent une grande quantité de déchets, cela est dû à l'ouverture croissante des économies de ces pays aux échanges internationaux, l'évolution de leur consommation induit de forte production de déchets.

Dans les pays du Moyen Orient et du Maghreb, la production de déchets qui a été de 63 millions de tonnes en 2012, devrait atteindre 135 millions de tonnes environ en 2025. Le nombre d'habitants augmenterait de 60 % (Technical Report, 2012).

III.5. 2. Etude comparative par rapport aux villes de certains pays développés

- (i) ***Villes européennes*** : en Europe, la production des DM est 2 fois plus importante que dans les pays du Maghreb. La moyenne de production de déchets ménagers dans l'Union Européenne est de l'ordre de 1,37kg/hab/j contre 0,68 kg/hab/j pour les pays du Maghreb (Technical Report, 2012).

La quantité de déchets générés varie considérablement selon les états membres : Danemark, avec 1,97 kg/hab/j a la plus grande quantité de déchets produits en 2011, suivie par le Luxembourg, Chypre et l'Irlande avec des valeurs comprises entre 1,64 et 1,91 kg/hab/j, l'Allemagne, les Pays-Bas, Malte, l'Autriche, l'Italie, l'Espagne, la France, le Royaume-Uni et la Finlande avec des valeurs comprises entre 1,37 et 1,64 kg/hab/j. La

Gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Grèce, le Portugal, la Belgique, la Suède, la Lituanie et la Slovénie ont des valeurs comprises entre 1,10 et 1,37 kg/hab/j, tandis que les valeurs inférieures à 1,10 kg par personne ont été enregistrées dans les pays de l'Est de l'Europe, Hongrie (1,05kg/hab/j), Bulgarie (1,03kg/hab/j), Roumanie (1kg/hab/j), Lettonie (0,96kg/hab/j), Slovaquie (0,90kg/hab/j), République tchèque (0,88 kg/hab/j), Pologne (0,86 kg/hab/j) et Estonie (0,82 kg/hab/j) (Eurostat, 2013). Ces pays ont été longtemps sous une économie socialiste.

- (ii) ***Villes américaines et canadiennes*** : la moyenne nationale du ratio aux 2,5 kg/hab/j et au Canada, elle oscille entre 2 et 2,5 kg/hab/j (Hoornweg et al. 2012)

III.6. Composition des déchets ménagers

La composition des déchets dépend de plusieurs facteurs : climat, saison, type de région, niveau de vie, situation géographique, niveau socio-culturel, tri à la source...

Le tableau 10 regroupe les résultats relatifs à la composition physique des déchets ménagers dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien.

Tableau 10. Composition physique des déchets ménagers dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Catégories (%)	Matière organique	Plastique	Papier-carton	Verre	Métaux	Textile	Autres
Tiaret	73,1	14	5,6	2,4	3	1,3	0,6
Mostaganem	68	11,7	12	1,5	1,1	2,6	3,1
Oran	72,5	12	9	1,8	1,7	2	1
Ain Témouchent	71	14	9	2	3	0	1
Relizane	77	13	5	3	2	0	0
Tlemcen	65	14	12	1	3	5	0
Mascara	55,5	9,9	14,9	4,3	4,9	0	10,5
Saïda	72	11	11	1	3	2	0
Sidi Bel Abbès	68	12	12	2,7	3,8	1,2	0,3
Naâma	75,1	7,7	3,9	3,1	0	4,1	6,1
Béchar	64,3	12,7	11,6	3,7	4,6	0	3,1
Moyenne	69,2	12,0	9,6	2,4	2,7	1,7	2,3

L'étude du tableau 10 montre que la matière organique est la plus importante au niveau des villes étudiées avec une moyenne de 69,2%. Cette valeur met la région dans le même niveau avec Bejaia, ville côtière, 69,4% (Guermoud et al. 2009) et Constantine, ville de l'Est, 70% (Boukelia et Mecibah, 2012). Par contre, Annaba, ville côtière, possède un faible taux 45,7% (Cheniti et al.

2013) suivi de Biskra, ville du Sud, avec 49% (Mezouari, 2011), la capitale Alger avec 54% (Boukha et Mecibah, 2012) et les villes d'intérieur comme Batna 56% (Sefouhi, 2012) et Chleff 62% (Tahraoui et al.2012),

Cette composition différente reflète le mode de consommation et de nutrition qui varie en fonction des régions et des niveaux de vie (grandes villes) des ménages algériens. Il est basé dans les villes d'études sur des produits frais et l'absence d'utilisation de produits de conserves et de congélation.

Les habitants de la capitale ont tendance à suivre le rythme des grandes villes avec une production moyenne dans la matière organique.

Les villes côtières, telle qu'Annaba, ont leurs caractéristiques culinaires pendant les dix mois de l'année et les deux mois d'été seront envahies par des touristes qui vont perturber leurs équilibres.

Les villes d'intérieur comme Chleff et Batna et du grand sud comme Biskra ont un comportement nutritionnel et culinaire différent des autres villes. Par exemple, la consommation de céréales et de légumes secs au détriment des fruits et légumes.

Le plastique est en deuxième position avec des taux variant entre 7 et 14%, constitué essentiellement d'emballages (eaux minérales, jus de fruits, lait, yaourts liquides, huiles et autres boissons). La moyenne régionale (12%) est la même avec la moyenne nationale (Gourine, 2010), et celles de Bejaïa 12,3% (Guermoud et al. 2009) et Constantine 13%, contrairement à Alger (16,4%) qui produit plus de déchets plastiques que les autres villes (Boukha et Mecibah, 2012).

La troisième position est occupée par le papier-carton avec 9,6%. Elle est beaucoup plus proche de la moyenne nationale 9% (Gourine, 2010), alors qu'elle est inférieure aux autres villes qui dépassent les 10% comme la ville de Biskra 12% (Mezouari, 2011), Batna 17,7% (Sefouhi, 2012), Alger 13,4% (Boukha et Mecibah, 2012).

L'hétérogénéité des résultats ne permettent pas, à l'état actuel de l'étude, de donner une explication rationnelle sur ce type de déchet. Toutefois il est à noter qu'ils sont constitués essentiellement de papier et carton d'emballage alimentaires, papier journaux, emballage de tabac, papeterie des entreprises, établissements scolaires et universitaires.

Pour le textile, on note de faibles proportions dans toutes les villes étudiées avec une moyenne de 2,7%. Cette valeur est nettement inférieure par rapport à celles d'Alger 11,6% (Boukha et Mecibah, 2012), Annaba à 15% (Cheniti et al. 2013) et Batna (10,3%) qui disposent d'unités de textile. Ces déchets sont souvent évacués vers les décharges ou les C.E.T (Sefouhi, 2012).

Au niveau de verre et métaux, les taux moyens sont très faibles (1 à 2%), confirmant ainsi le peu d'utilisation d'emballage en verre et l'existence du secteur informel dans la récupération des métaux.

III.6.1. Comparaison de la composition physique avec quelques pays

Les informations sur la composition physique des ordures ménagères des villes précédemment citées nous ont amené à comparer ces résultats avec des pays développés et des pays en développement. Le tableau 11 résume leur composition.

Tableau 11. La composition physique des déchets ménagers au niveau international

Catégories (%)	Matière organique	Plastique	Papier-carton	Verre	Textile	Métaux	Autres	Références
L'Ouest et Sud Ouest algérien	69,2	12,0	9,6	2,4	2,7	1,7	2,3	Cette étude
Tunisie	70	11	13	3,2	4,2	3	2,4	SWEEP-Net Tunisie, 2010
Maroc	65	10	8	2	/	1	14	SEEE ; 2004.
Egypte	56	13	10	4	/	2	15	SWEEP-Net, Egypt, 2010
Mauritanie	4,8	20	7,3	4	12,2	4,2	/	Aloueimine, 2006
Liban	50	13	17	4	/	6	10	SWEEP-NET, Lebanon, 2010
Inde	38,6	6	5,6	1	/	0,2	/	Ntabugi, 2013
Mexique	55	4	15	4	/	6	/	Ntabugi, 2013
France	32,2	11,2	21,5	12,7	10,6	3	8,9	ADEME, 2009
Danemark	29	0,8	27	5	/	6	32	OECD, 2006-2008
Suisse	29	15	20	4	/	3	29	OECD, 2006-2008
Pays-Bas	35	19	26	4	/	4	12	OECD, 2006-2008
Espagne	49	12	21	8	/	4	7	OECD, 2006-2008
Canada	40	9	26	3	/	4	18	Annual Statistics, 2005
USA	25	12	34	5	/	8	16	OECD, 2006-2008

Il confirme l'hétérogénéité des ordures ménagères. Ce qui est à remarquer, c'est la fraction fermentescible (matière organique) importante dans les pays en développement (plus de 50%), ce qui est un indicateur potentiel dans la différence de mode de nutrition et de vie entre ces pays et les pays développés. Exception faite pour la Mauritanie dont la fraction putrescible représente 4,8% parce qu'elle est valorisée comme aliment de bétail au sein même des ménages (Aloueimine, 2006).

Par contre, pour les pays industrialisés, cette fraction reste inférieure généralement à 50 % reflétant ainsi leurs modes de consommation, orientés plus vers une société de consommation et de l'utilisation des produits à durée de vie courte et avec des emballages importants.

Pour le plastique, le tableau 11 montre que pour les pays en développement, seule la Mauritanie présente un taux très élevé (20%) qui est du à la forte utilisation des sacs plastique. Près de 80 % des bovins tués aux abattoirs de Nouakchott sont porteurs de sacs en plastiques dans leur panse, ce qui a poussé la Mauritanie à prendre une décision depuis le 1^{er} janvier 2013, d'interdire la production, la commercialisation et l'utilisation des sachets plastiques sur l'ensemble de son

territoire (Pilgrim, 2014). Les autres pays en produisent entre 10 et 13%. Pour le Mexique et l'Inde, considérés comme pays émergents, le taux varie entre 4 et 6% respectivement.

Parmi les pays développés, le Danemark produit très peu de déchets en sacs de plastique (0,8%) parce que leur utilisation est sanctionnée par l'application d'une taxe depuis 1994. Les autres états restent relativement producteurs de ce type de déchet entre 9 et 12%, ce qui n'est pas très différent des pays en développement.

Le papier est considéré comme un indice de développement d'un pays et constitue de ce fait un soutien essentiel pour la culture et la communication.

Les états unis sont les premiers pays consommateurs de papier, 240,2 kg/hab en 2010, suivis par le Danemark (210,3 kg/hab), la Suisse (203,8 kg/hab), les Pays-Bas (195,4 kg/hab), le Canada (184,9 kg/hab), la France (151,9 kg/hab) et l'Espagne avec 139,2 kg/hab. Alors que dans certains pays en développement, la part de consommation du papier est très faible. Par exemple, en Algérie elle est de 20 kg/hab/an, en Tunisie 34 kg/hab/an et au Liban 70 kg/hab/an. Cette différence énorme reflète l'absence de tradition de lecture, de publicité, de supports de communication, ... Ceci se traduit par une production de ce type de déchet plus importante dans les pays développés allant du double au quadruple par rapport aux autres états (COPACEL, 2012)

La part du verre est faible dans la plupart des pays, exception faite pour la France où le taux est maximum (12,7%). 70 % des tonnages concernant le verre creux, la plus grande partie étant représentée par le verre d'emballages ménagers (bouteilles, bocaux, pots, flacons).

En 2009, 35 millions de verres de lunettes ont été vendus en France. Chaque verre, quand il est "meulé" génère 13 g à 15 g de débris, soit en moyenne 500 tonnes, qui sont rejetés. En plus, la France est considérée parmi les pays les plus consommateurs de vin, 1,8 milliards de bouteilles de vin consommées en 2013 avec emballage perdu pour 65 millions d'habitants (Planetoscope, 2016)

III.7. Caractérisation physico-chimiques des déchets ménagers

La connaissance des paramètres physico-chimiques permet de proposer la ou les méthodes les plus appropriées pour leur traitement. Les deux tableaux 12 et 13 présentent les différents paramètres physico-chimiques caractérisant les déchets ménagers des CET étudiés.

A noter qu'on n'a pas pu effectuer les paramètres physico-chimiques pour les autres villes car on a trouvé des difficultés pour transférer les déchets jusqu'à notre laboratoire, ce qui a nous obligé d'étudier que deux villes (Tiaret et Mostaganem).

Tableau 12. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des déchets ménagers.

Paramètres	Tiaret	Mostaganem	Moyenne
-------------------	---------------	-------------------	----------------

Chapitre III

Gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Humidité (%)	89,5	85,5	87,5
pH	5,44	5,4	5,42
Densité (kg/m³)	239	480	359,5
Conductivité (µS/cm)	4290	3980	4135
Matière sèche (%)	10,5	14,5	12,5
Matière volatile (%)	41,2	68,3	54,8
Carbone organique (%)	35,5	35,1	35,3
Azote (%)	1,7	1,5	1,6
C/N (%)	20,9	23,4	22,2

- *La teneur en eau* (humidité) est très importante dans les déchets ménagers des C.E.T étudiés avec un taux moyen de 87,5%. Elle l'est également à Alger avec un taux 56 à 74%. C'est une particularité des pays en développement dont les déchets sont riches en fruits, légumes et restes de nourriture. Elle est comprise entre 50 et 95% : 40 à 60% au Burkina Faso, 60-70% au Maroc, 60-75% au Liban (Aina, 2006) alors qu'à Nouakchott en Mauritanie, elle ne représente que 11 % (Aloueimine, 2006) parce que la matière organique est récupérée au niveau des ménages et valorisée comme aliment de bétail et, par conséquent, n'intègre pas le circuit municipal des déchets. Pour les pays développés l'humidité ne dépasse pas les 35% (Aina, 2006).
- *Le potentiel d'hydrogène* (pH) est un bon indicateur de l'état de progression du compostage de déchets ménagers. Les fractions organiques présentent des pH initiaux variant de 4,5 à 6 (Sundberg et al. 2004), ce qui est confirmé dans nos déchets où le pH moyen est de 5,42.
- *La densité moyenne* des déchets ménagers entrant au C.E.T est de 359,5 kg/m³. Ce résultat est comparable à celui des pays en développement dont les valeurs sont comprises entre 200 et 400 kg/m³ ; Maroc 350 kg/m³; Tunisie 300 kg/m³ ; Malaisie 240 kg/m³ ; Pakistan 130 kg/m³ ; Mauritanie 410 kg/m³ (Wicker, 2000 ; Zurbrugg& Ahmed, 1999 a). La densité des déchets est plus élevée dans les pays en développement que dans les pays industriels (Aina, 2006).
- *La conductivité* est un paramètre essentiel qui nous apporte une information globale sur la quantité d'espèces chargées présentes dans les déchets. Les bactéries vont effectuer des transformations qui se traduisent par des accumulations de sels, comme les nitrates, phosphates et permettent d'évaluer la pollution minérale présente. D'après le tableau 11, on constate une faible conductivité dans les déchets entrant au CET.
- Les résultats des analyses effectuées sur les DM des deux villes ont montrés que les valeurs des *matières volatiles* (MV) représentent en moyenne 54,8 %. Ce taux est comparable à la moyenne observée par François (2004) en France (59%), par Aloueimine (2005) en Mauritanie (52%). Il reste, néanmoins, relativement faible compare à d'autres villes tels que l'île Maurice avec 85 %, Haïti 79% et la Tanzanie avec 80 % (Féniel et al., 2009).

- Les teneurs en *carbone* et en *azote* ont été déterminés dans les composants fermentescibles des déchets (putrescibles, papiers et cartons). Un déchet compostable doit avoir un rapport (C/N) situe entre 20 et 30 pour que l'on observe une dégradation suffisamment rapide des matières organiques biodégradables. Pour notre étude, ce rapport est en moyenne de 22,2% ce qui représente un bon indicateur de la compostabilité pour nos déchets.

Tableau 13. Identification de la teneur en métaux dans les déchets ménagers

Types de métaux	Concentrations (mg/kg matière sèche)			
	Tiaret	Mostaganem	Moyenne	Normes
Cd	< L.D	< L.D	< L.D	10
Ni	< L.D	< L.D	< L.D	200
Pb	< L.D	< L.D	< L.D	800
Zn	< L.D	< L.D	< L.D	100
Al	45590	19500	32545	-
As	140	400	270	-
B	2880	2960	2920	-
Bi	190	70	130	-
Ca	285130	200000	242565	-
Cr	6,8	< L.D	/	1000
Cu	470	300	385	1000
K	180230	150070	165150	-
Mg	40370	38160	39265	-
Mn	480	< L.D	/	-
Na	80990	75230	78110	-
Se	1580	1730	1655	3000-4000
Sr	710	710	710	-
Fe	62790	/	/	-

L.D : Limite de Détection.

La présence des métaux dans les ordures ménagères pourrait induire des effets indésirables lors de la valorisation sur sol par l'apport du compost.

D'après le tableau 13, on remarque l'absence des métaux les plus connues toxiques (Cd, Cr, Ni et Pb), et des teneurs négligeables pour les autres métaux. Ce qui nous permet d'utiliser nos déchets sans risque environnemental sur le sol et l'environnement dans le cas de valorisation de la matière organique par compostage

III.8. Caractérisation microbiologique

En plus des risques liés aux métaux lourds, il existe des autres, aussi importants et dangereux, transportés par les microorganismes pathogènes. Le danger peut être obtenu par ingestion, inhalation de l'air ou par absorption directe, ce qui peut conduire à des infections mortelles chez l'individu. Le tableau 14 montre l'analyse microbiologique effectuée sur nos ordures ménagères.

Tableau 14. Résultats d'analyse des microorganismes dans les déchets ménagers

Chapitre III

Gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Agents biologiques identifiés	Concentration		Moyenne
	Tiaret	Mostaganem	
Coliformes totaux	76x 10 ³ UFC/g	118 x 10 ⁶ UFC/g	59 x 10 ⁶ UFC/g
Coliforme fécaux	128x10 ² UFC/g	120 x 10 ⁴ UFC/g	60 x 10 ⁴ UFC/g
Germes fécaux	153x10 ⁴ UFC/g	97 x 10 ⁵ UFC/g	56 x 10 ⁵ UFC/g
Clostridium sulfito-réducteur	Présents	Présents	Présents
Staphylococcus pathogènes	Présents	Présents	Présents
Salmonella sp	Présents	Présents	Présents
Shigellasp	Présents	Présents	Présents
Yersinia enterolitica	Présents	Présents	Présents
E.coli Escherichia coli	Présents	Présents	Présents
Campylobacterjejuni	Présents	Présents	Présents

La présence de staphylocoques est un témoin de non salubrité, leurs effets dépendent de la nature des enzymes et/ou des substances toxiques qu'elles secrètent.

Les risques causés par ces agents influent directement et d'une façon significative, sur la santé des gens exposés aux agents biologiques décrits ci-dessus. Ceci est confirmé par les statistiques. Les taux d'incidence de problèmes pulmonaires, gastro-intestinaux et cutanés sont élevés chez les travailleurs du secteur (Poulsen et coll., 1995). Et ce, malgré l'existence de vaccins efficaces contre les toxines produits par ces agents.

D'après le tableau 14, les agents indiqués en gras, sont des bactéries pour lesquelles il existe un classement du pouvoir infectieux au titre de la directive 2000/54/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques au travail.

CHAPITRE IV

**OPTIMISATION DE LA GESTION DES DECHETS
MENAGERS DANS QUELQUES VILLES DE
L'OUEST ALGERIEN**

IV. Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

La gestion des déchets ménagers est un domaine très vaste qui ne se limite pas à la collecte, le transport et à la valorisation mais il s'est élargi à l'optimisation des différentes étapes de cette gestion. Ce qui n'est pas le cas de l'Algérie. Malgré les efforts de l'état pour rénover ce service par la construction de 300 C.E.T, la situation n'a pas encore changé, les déchets ménagers posent de plus en plus de problèmes dans les villes algériennes avec un manque de gestion caractérisé par des insuffisances à tous les niveaux, et une augmentation de la production de déchets sous l'effet économique, démographique et socioculturel.

A cet effet, nous sommes proposés de trouver la meilleure optimisation de la gestion des déchets dans les villes investies dans le but de disposer des éléments d'appréciation et d'évaluation pour toute opération de valorisation de ces déchets.

IV.1. Superstructure pour le développement du modèle

Pour proposer un système d'optimisation de gestion des déchets ménagers, nous avons considéré un ensemble d'installations représentatives de traitement des déchets qui peuvent potentiellement être mises en œuvre dans la région étudiée. Ce système, appelé structure (figure 7), est composé :

- de sources des déchets triés par un ensemble de catégories j de déchets ($j = 1, 2, 3, \dots, 7$). Ainsi, $j = 1$ pour plastiques; $j = 2$ pour papier/carton; $j = 3$: verre; $j = 4$: métaux; $j = 5$: textile; $j = 6$: matière organique; $j = 7$: autres (déchet non représentatifs comme le bois, la céramique...).
- d'un centre de récupération (material recovery facility) noté MRF.
- de quatre installations de i traitements des déchets ($i = 1, 2, 3, 4$). Ainsi, $i = 1$ pour l'incinération (waste to energy), notée WTE ; $i = 2$ pour le compostage (CM), $i = 3$ pour la méthanisation (anaerobic digestion facility) notée (ANB) et $i = 4$ pour l'enfouissement (landfill) notée (LF).

Chaque composant j (1, 2, 3, ..., 7) sera traité en fonction de sa valeur potentielle. Par exemple, la matière organique sera attribuée à trois installations de traitement (CM, ANB et LF), alors que le verre et les métaux seront destinés au (MRF), et ainsi de suite pour les autres catégories comme mentionné dans la figure 7. Ces déchets seront valorisés en quatre principaux produits : matériaux recyclés, compost, méthane et électricité.

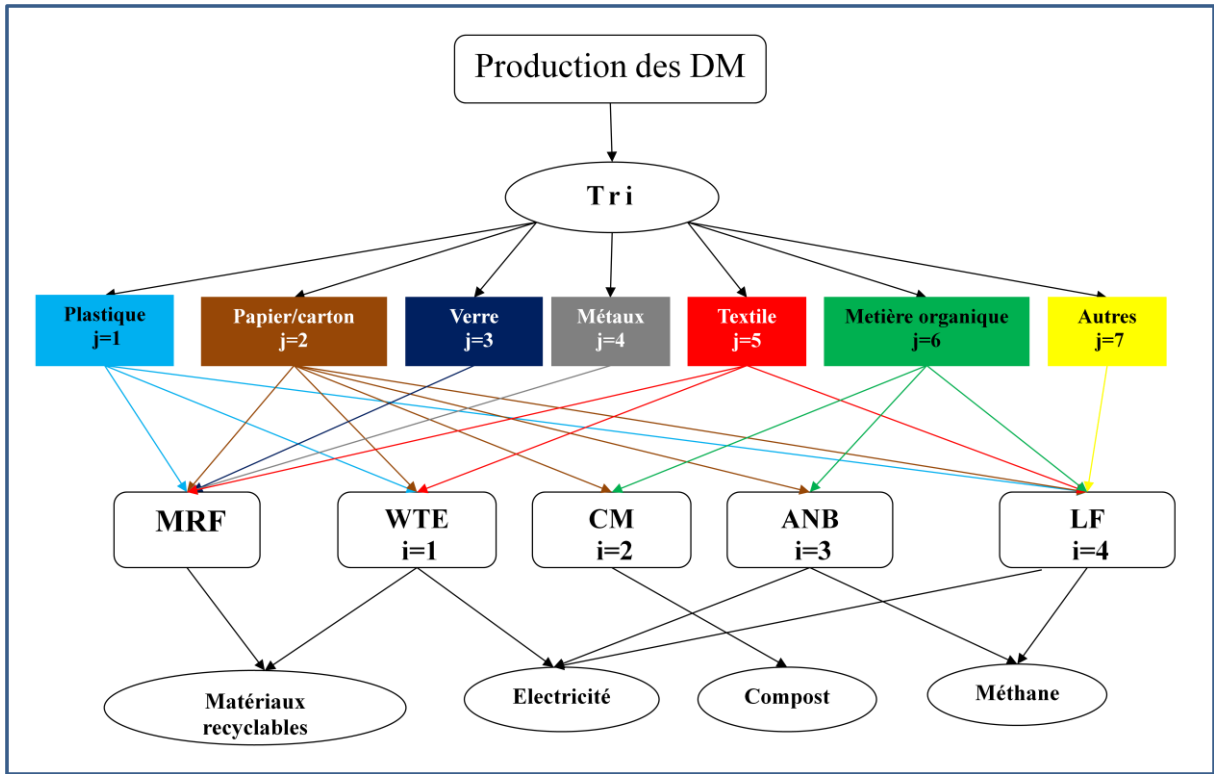


Figure 7. La superstructure du système de la gestion des déchets ménagers

IV.2. Formulation du modèle

Le modèle d'optimisation est formulé avec une fonction objective, des variables ajustables (décisions) et des contraintes.

IV.2.1. Fonction objective

La fonction objective vise à minimiser le coût total du système de la gestion des déchets ménagers comme décrit par l'équation.1. (Minoglou et Komilis, 2013)

$$\begin{aligned}
 MinTC = & TC_{MRF} \sum_{j=1}^5 TP_j \times RPR_j + \sum_{i=1}^4 TC_i \times \sum_{j=1}^7 TP_j \times (1 - RPR_j) \times y_{ij} + \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^7 y_{ij} \times TP_j \right. \\
 & \times (1 - RPR_j) \times Res_{ij} + \sum_{j=1}^5 TP_j \times RPR_j \times (1 - MRF_{effj}) \times TC_{LF} - \sum_{j=1}^5 TP_j \times RPR_j \times MRF_{effj} \\
 & \times MRK_j - \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 y_{ij} \times TP_j \times (1 - RPR_j) \times Res_{ij} \times MYield_j \times BRec_i \times EEConv_i \times 10.5 \\
 & \times CostElect + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 y_{ij} \times TP_j \times (1 - RPR_j) \times Res_{ij} \times MYield_j \times BRec_i \times EEConv_i \times Bplant \\
 & \times 10.5 - \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 y_{ij} \times TP_j \times (1 - RPR_j) \times LHV_j \times EEConv_i \times CostElec \dots \dots \dots (Eq. 1)
 \end{aligned}$$

Où :

- TC : coût total du système de gestion des déchets ménagers en (DA/j)

Chapitre IV

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

- $j = 1-7$: Indices correspondant à chaque composant; plastique ($j=1$); papier-carton ($j=2$); verre ($j=3$); métaux ($j=4$); textiles ($j=5$); matières organiques ($j=6$); autres ($j=7$).
- $i = 1-4$: indices correspondant à chaque installation de traitement des déchets; l'incinération ($i = 1$), le compostage ($i = 2$), la méthanisation ($i = 3$), l'enfouissement technique ($i = 4$).
- y_{ij} : fraction du composant j qui est dirigée vers l'installation i ; Ce sont les variables de décision, qui sont ajustées lors de l'optimisation pour atteindre la valeur optimale.
- TC_{MRF} : coût total d'un centre de récupération des déchets, qui est calculée selon l'équation indiquée dans le tableau 15 en (DA / tonne)
- TP_j : la quantité quotidienne de chaque composant j en (t / j).
- RPR_j : taux de recyclage de chaque composant j des déchets en % (voir tableau 16)
- TC_i : coût total de l'installation i en (DA/tonne), qui est la somme des coûts d'investissement et les coûts d'exploitation (selon les équations du tableau 15).
- TC_{LF} : coût de l'enfouissement d'une tonne de déchets (DA/tonne)
- MRF_{effj} : efficacité de la séparation pour chaque composant j dans le centre de récupération MRF (voir tableau 16)
- MRK_j : prix de vente de chaque composant récupéré j recyclable (DA / t) pour $j = 1$ à 5.
- Res_{ij} : taux résiduel de chaque composant j dans les trois installations de traitement i (WTE, CM et ANB) qui ont présentés dans le tableau 17
- $MYield_j$: le rendement théorique de méthane du composant j (m^3CH_4 / t composant) qui est montré dans le tableau 16
- $BRec_i$: efficacité de la récupération de biogaz dans un LF ou ANB en (%) qui est mentionné dans le tableau 18
- $EEConv_i$: efficacité de conversion en énergie électrique (%) dans un ANB, WTE or LF (tableau 18)
- 10,5: pouvoir calorifique inférieur de méthane (kWh / Nm^3CH_4)
- $CostElec$: les revenus provenant de la vente de l'énergie électrique générée par (WTE, LF et ANB) en DA / kWh.
- $Bplant$: coût total d'une usine de biogaz utilisé pour produire de l'électricité dans une décharge (DA/kWh)
- LHV_j : pouvoir calorifique inférieur (PCI) de chaque composant j (kWh / t)

Par rapport à l'équation 1 :

- Le premier terme décrit le coût total de MRF, qui est en fonction de RPR_j .
- Le second terme présente le coût total des 4 installations de traitement des déchets (WTE, CM, ANB, LF).
- Le troisième terme décrit le coût de l'enfouissement, où les résidus provenant des installations de traitement des déchets (MRF, WTE, CM et ANB) ont été supposés enfouis.
- Le quatrième terme présente les revenus de la vente des matières recyclables.
- Le cinquième terme décrit les revenus de la vente de l'énergie électrique générée par l'utilisation de méthane récupéré dans l'installation anaérobie (ANB) et dans le CET (LF).
- Le sixième terme donne le coût global d'une installation de biogaz qui doit être installée dans le centre d'enfouissement technique en raison de la conversion du biogaz en énergie électrique.
- Le dernier terme présente les revenus de la vente de l'énergie électrique produite par WTE.

IV.2.1.1. Fonctions approximatives des coûts des installations de traitement

Les fonctions de coût générées sont présentées dans le tableau 15. Chaque fonction est valable dans l'intervalle de capacité indiquée dans la quatrième colonne, ces intervalles varient considérablement entre les différents types d'installations.

Selon Tsilemou and Panagiotakopoulos (2006), pour avoir ces fonctions, des ensembles de normalisation et des chiffres sont ajustés à l'aide de méthodes statistiques appropriées, les courbes «meilleurs ajustements» sont générés pour le coût initial et le coût d'exploitation.

Tableau 15. Fonctions approximatives des coûts des installations de traitement.

Type d'installation	Le coût d'investissement (DA/t)	Coût d'exploitation (DA/t)	Range (10^3 ton/an)	Références
I = 1 (WTE)	$y = 5000 \times x^{0.8}$	$y = 700 \times x^{-0.3}$	$20 \leq x \leq 600$	Tsilemou and Panagiotakopoulos (2006)
I = 2 (CM)	$y = 2000 \times x^{0.8}$	$y = 2000 \times x^{-0.5}$	$2 \leq x \leq 120$	
I = 3 (ANB)	$y = 35\,000 \times x^{0.6}$	$y = 17\,000 \times x^{-0.6}$	$2.5 \leq x \leq 100$	
I = 4 (LF)	$y = 6000 \times x^{0.6}$ $y = 3500 \times x^{0.7}$	$y = 100 \times x^{-0.3}$ $y = 150 \times x^{-0.3}$	$0.5 \leq x \leq 60$ $60 \leq x \leq 1500$	
MRF	$51,515 \times x^{0.73}$			Tsilemou and Panagiotakopoulos (2007)

IV.2.1.3. Les valeurs utilisées pour appliquer l'optimisation

Le tableau 16 résume les valeurs utilisées pour appliquer l'optimisation de la gestion des déchets ménagers des villes étudiées dont :

$RPR_j(\%)$: le taux de recyclage correspond à la quantité de matériau recyclée par rapport au gisement total de ce matériau. Les chercheurs rapportent qu'environ 70% des déchets séparés sont destinés au centre de récupération, ce qui a été effectué dans notre étude pour le papier-carton, le plastique et le textile. Tandis que le verre et les métaux, on a supposé que toutes les quantités sont récupérées (100%).

$MRF_{effj}(\%)$: présente les quantités en pourcentage des déchets recyclables récupérés après un deuxième tri efficace au niveau de MRF qui est supposée égale à 70% dans notre étude et les résidus sont destinés à l'enfouissement technique.

$MRK_j(\text{DA/t})$: les prix de vente des matériaux recyclables est donné par les directions de l'environnement des villes investies.

Concernant les valeurs du rendement théorique de méthane (**$MYield_j$**) et le pouvoir calorifique inférieur (**LHV_j**) sont pris d'après l'étude de (Minoglou et Komilis, 2013)

Tableau 16. Les valeurs utilisées pour appliquer l'optimisation

Composant j	RPR_j (%)	MRF_{effj} (%)	MRK_j (DA/t)	$MYield_j$ (m³CH₄/t)	LHV_j (kWh/t)
Plastique	70	70	3 498,6	0	10880
Papier/carton	70	70	27 971,1	115.1	3897
Verre	100	70	41 956,6	0	0
Métaux	100	70	36 479	0	0
Textile	70	70	17 844,4	0	0
Matière organique	0	0	0	300.7	1193
Autres	0	0	0	0	0

IV.2.1.3. Le taux des quantités résiduelles destinées à l'enfouissement

Les résidus de toutes les installations de traitement des déchets (les déchets non recyclables, les cendres provenant de WTE, les résidus du CM, digestat de l'ANB) sont exprimés en pourcentage des quantités d'entrée (Tableau 17). Tous ces résidus ont été supposés enfouis (Komilis et Ham, 2004).

Chapitre IV

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Tableau 17. Taux résiduel de chaque composant j dans les installations de traitement i (%)

<i>Res_{ij}</i> (%)	MRF^a	WTE^b	CM^c	ANB^d
Plastique	30	2	100	100
Papier/carton	30	14	65	75
Verre	30	97	100	100
Métaux	30	98	100	100
Textile	30	3	100	100
Matière organique	0	1	35	45
Autres	0	25	100	100

a : les résidus de déchets recyclables après le deuxième tri au niveau du centre de récupération, puisqu'on a mentionné auparavant que l'efficacité de tri est de 70% par quantité récupérée.

b : les taux des résidus de l'installation qui sont donnés par Komilis et Ham, (2004)

c : les résidus de compostage dont cette valorisation nécessite 65% en matière organique et 35% en papier-carton et le reste destiné à l'enfouissement technique.

d : les résidus de méthanisation dont cette valorisation nécessite 55% en matière organique et 25% en papier-carton et le reste destiné à l'enfouissement technique.

IV.2.1.4. Les valeurs énergétiques

Le tableau 18 donne les valeurs de l'efficacité de conversion en énergie électrique $EEConv_i$ (%) et celles de la récupération de biogaz $BRec_i$ (%) dans chaque installation de traitement.

Tableau 18. Taux de $BRec_i$ et $EEConv_i$

Type d'installation	$EEConv_i$ (%)	$BRec_i$ (%)	Références
WTE	27	0	Economopoulos, 2010
CM	0	0	Banque mondiale, 1999
ANB	33	100	McDougall et al. 2001
LF	33	30	Minoglou et Komilis, 2013

IV.2.2. Variables ajustables

Il y a 28 variables (y_{ij}) dans le modèle d'optimisation ci-dessus (c'est-à-dire sept composants de déchets ménagers et quatre techniques de traitement).

IV.2.3. Contraintes

L'équation de la contrainte principale est :

$$\sum_{i=1}^4 y_{ij} = 1 \text{ pour } j = 1 \text{ à } 7 \dots\dots\dots (\text{Eq.2}) \text{ (Minoglou et Komilis, 2013)}$$

L'équation 2 est une équation d'équilibre de masse qui indique que l'un des composants des déchets, ou une fraction de celui-ci, peut être attribué à une ou plusieurs installations de traitement et la somme des quantités de ce composant qui entre dans les différentes installations de traitement des déchets doit être égale à la masse totale initiale de ce composant.

IV.3. Minimisation du coût total du système

Pour déterminer l'optimisation des différentes techniques de gestion des déchets ménagers dans les villes étudiées (MRF, CM, ANB, LF) en minimisant le coût total, nous avons étudié quatre scénarios.

IV.3.1. Scénario S 1 : optimisation pour l'enfouissement technique (LF)

Dans ce scénario, nous avons proposé que tous les déchets à traiter doivent aller au centre d'enfouissement, ainsi que les résidus de MRF et en supposant qu'aucune autre installation de traitement n'est introduite.

IV.3.2. Scénario S 2 : optimisation du compostage

Pour ce scénario, nous avons supposé que les bio-déchets (matière organique et papier-carton) sont envoyés à l'installation de compostage, alors que les résidus de déchets recyclables (plastique, textile et autres déchets) provenant de MRF seront enfouis.

IV.3.3. Scénario S 3 : optimisation de la digestion anaérobie (méthanisation)

Les propositions du deuxième scénario ont été maintenues; nous avons remplacé juste l'installation de compostage par la digestion anaérobie.

IV.3.4. Scénario S4 : optimisation des installations mixtes (CM, ANB, LF et MRF)

Le scénario 4 prévoit un centre de récupération (MRF) et trois installations de traitement mixtes (CM, ANB, LF), c'est-à-dire qu'après la récupération des déchets recyclables au niveau de MRF, le reste de ces déchets sera destiné aux CM, ANB et LF pour les traiter.

Afin de créer ce scénario, nous avons fait plusieurs propositions de calcul, et puis on a choisi la meilleure proposition qui nous donne une bonne répartition des déchets entre les trois installations de traitement. Nous avons trouvé pour :

- (i) **L'enfouissement technique (LF)** : 40% en papier-carton, 20% en matière organique et les autres résidus des déchets recyclables de MRF (plastiques, textiles et autres déchets).
- (ii) **Le compostage (CM)** : 40% en papier-carton et 60% en matière organique.
- (iii) **La méthanisation (ANB)** : 20% en papier-carton et 20% en matière organique.

- *Cas de l'incinération*

Le tableau 15 montre que nous ne pouvons pas optimiser le coût de l'incinération des déchets ménagers dans les villes étudiées parce que la quantité de déchets produite est inférieure à 20 000 tonnes jour⁻¹ pour être viable (Tsilemou et Panagiotakopoulos, 2006). D'autre part, certaines chaînes de valorisation ont été favorisées.

IV.4. Résultats de l'optimisation en fonction de scénarios proposés

Les résultats concernant l'optimisation des quatre scénarios sont donnés dans les figures 8 et 9 qui représentent le coût et le bénéfice total optimal du système respectivement pour les villes étudiées (Tiaret, Mostaganem, Tlemcen, Oran, Ain Témouchent, Relizane, Saïda, Sidi-Bel-Abbès, Mascara, Naâma et Béchar)

IV.4.1. Coût total optimal du système

Le coût total du système de la gestion des déchets ménagers dans les villes investies est déterminé par la somme du coût d'investissement et du coût d'exploitation qui sont tous deux calculés selon les équations du tableau 15. Les résultats du coût total optimal du système pour les villes étudiées sont présentés dans la figure 8

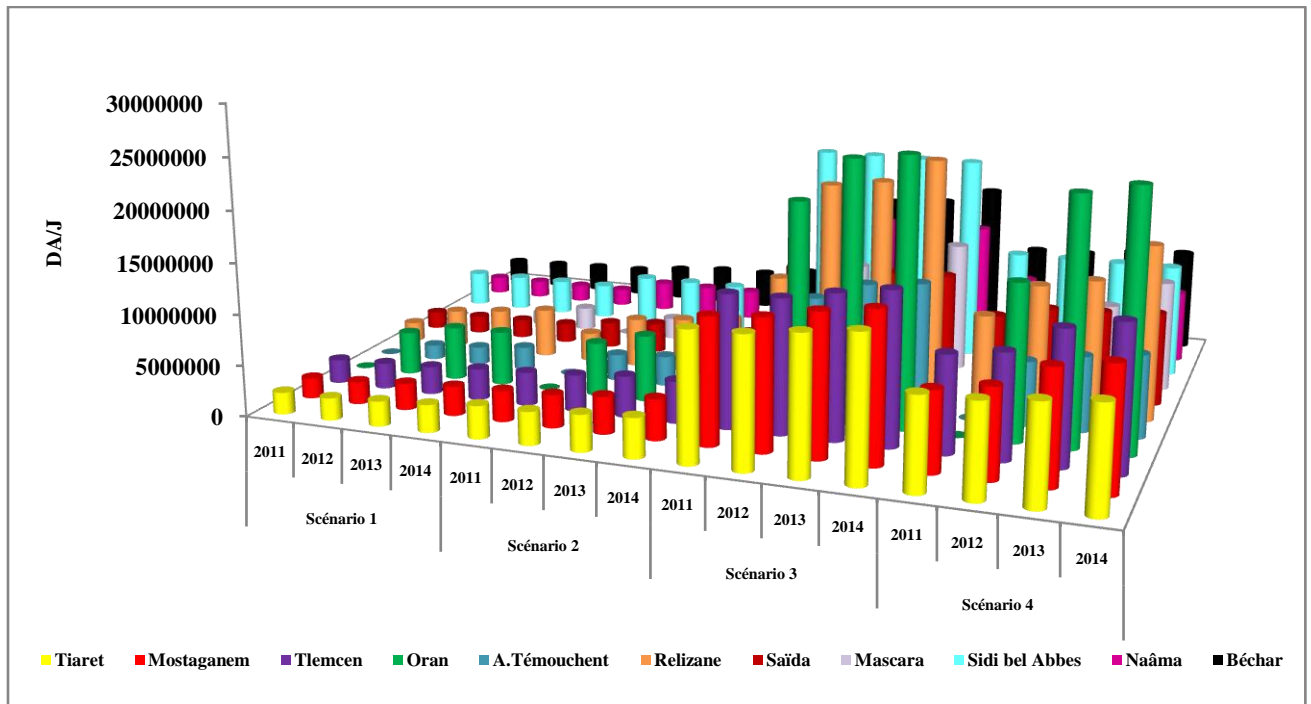


Figure 8. Coût total optimal du système

D'après la figure 8, on remarque que :

IV.4.1.1. Le scénario S1 (enfouissement technique) donne le coût le plus faible par rapport aux autres scénarios dans les villes citées avec des moyennes selon les séquences suivantes :

➤ CET exploitable de 2011-2014 :

Relizane ($3,6 \times 10^6$ DA/j) > Tlemcen ($2,6 \times 10^6$ DA/j) > Mostaganem ($2,4 \times 10^6$ DA /j) > Tiaret ($2,3 \times 10^6$ DA/j) > Saïda ($1,8 \times 10^6$ DA /j).

➤ CET exploitable de 2012-2014 :

Oran ($4,9 \times 10^6$ DA /j) > Ain Témouchent ($1,8 \times 10^6$ DA /j) > Mascara ($1,5 \times 10^6$ DA /j)

➤ Pour les villes qui font la pesée en forfait (2011-2014)

Sidi-Bel-Abbès ($3,5 \times 10^6$ DA /j) > Béchar ($2,6 \times 10^6$ DA /j) > Naâma ($1,7 \times 10^6$ DA /j)

IV.4.1.2. Le scénario S2 (compostage) donne un coût plus élevé par rapport au premier scénario avec 31% à Tiaret et Béchar, 30% à Mostaganem, 28% à Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès, 19% à Oran, 38% à Ain Témouchent et Saïda, 23% à Relizane et autour de 42% à Mascara et Naâma.

IV.4.1.3. Le scénario S3 (méthanisation) présente un coût beaucoup plus élevé par rapport S1 et S2 (tableau 19)

Chapitre IV

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Tableau 19. Taux d'augmentation des coûts de traitement par méthanisation (S3)

Augmentation du coût	S3 par rapport S1 (%)	S3 par rapport S2 (%)
Tiaret	81	73
Mostaganem	81	74
Tlemcen	80	73
Oran	80	75
A.Témouchent	84	75
Relizane	81	75
Saïda	83	73
Mascara	86	76
Sidi-Bel-Abbès	83	76
Naâma	86	76
Béchar	81	73
Moyenne	83	75

IV.4.1.4. Le scénario S4 (installations mixtes) : les résultats obtenus par le scénario S4 sont donnés par le tableau 20.

Tableau 20. Résultats du scénario S4 (installations mixtes)

Scénario S4	Augmentation du coût		Diminution du coût
	S4 par rapport S1 (%)	S4 par rapport S2 (%)	S4 par rapport S3 (%)
Tiaret	74	62	14
Mostaganem	75	64	63
Tlemcen	77	67	48
Oran	77	71	27
Ain Témouchent	75	59	64
Relizane	71	63	83
Saïda	79	65	71
Mascara	77	60	44
Sidi-Bel-Abbès	68	56	14
Naâma	76	59	63
Béchar	73	61	48
Moyenne	74,5	61,8	51,8

Pour étudier le scénario S4, il faut faire une comparaison entre les deux tableaux 18 et 19, où on a trouvé que le scénario S4 présente des coûts raisonnables :

- Le taux d'augmentation moyen de S3 par rapport à S1 est de 83%, alors que celui de S4 est de 74,5% ce qui nous donne un traitement moins coûteux avec une différence de 9%, sachant que ce

Chapitre IV

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

dernier englobe plusieurs installations de traitement (mixte) contrairement au S3 (ANB) qui comporte une seule installation.

- Le traitement par S3 est élevé de 75% par rapport à S2, alors que celui de S4 est de 61.8% donc le scénario mixte présente aussi une autre diminution par rapport au S3.
- Si on compare juste le traitement par S3 et par S4, on trouve qu'il existe une importante diminution entre eux estimée à 52%.

IV.4.2. Profit total optimal du système

Le profit total du système de la gestion des DM de la région d'étude est déterminé par la somme des prix de vente : des matériaux recyclables, de compost et d'électricité transformé à partir du méthane.

Les résultats du profit total optimal du système pour les villes étudiées sont présentés dans la figure 9.

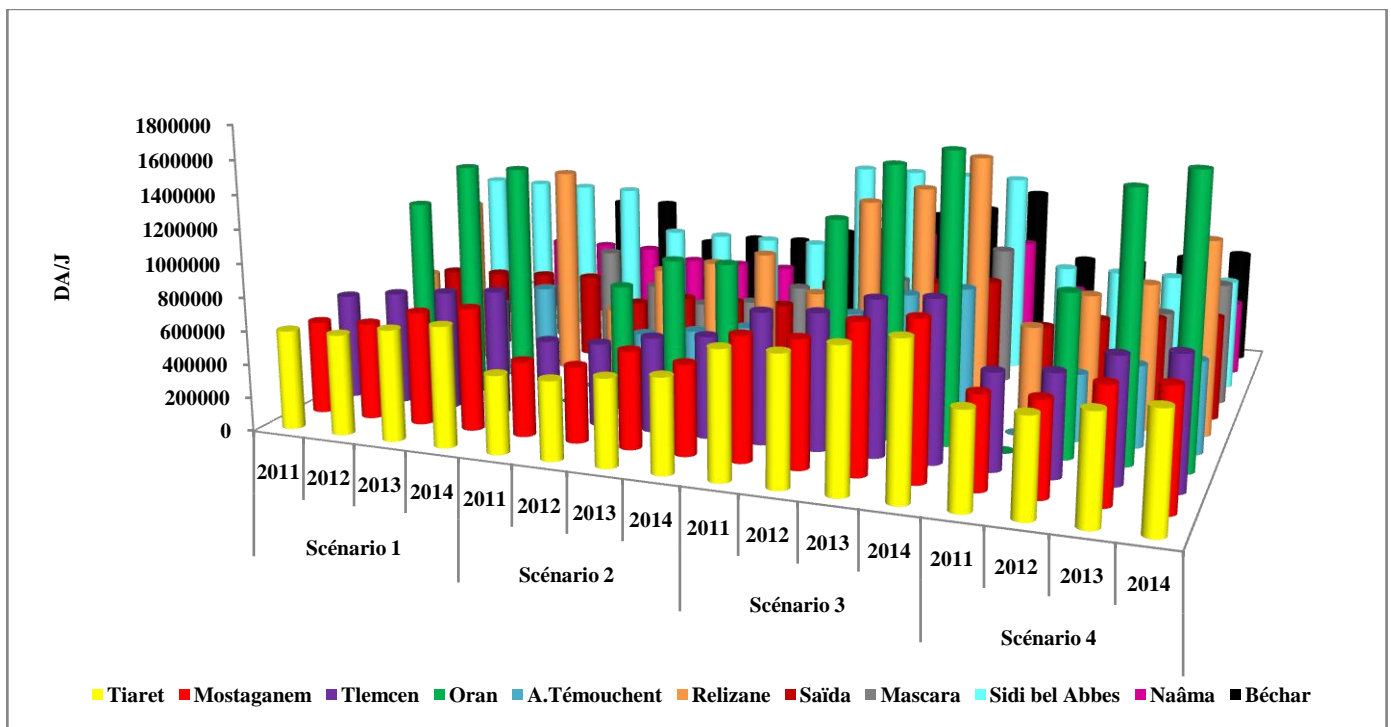


Figure 9. Profit total optimal du système

IV.4.2.1. Le scénario S1 (LF) : les profits de ce scénario sont présentés dans le tableau 21.

Tableau 21. Profits moyens du scénario S1

Villes	Tiaret	Mostaganem	Tlemcen	Oran	Ain Témouchent	Relizane	Saïda	Mascara	Sidi-Bel- Abbes	Naâma	Béchar
--------	--------	------------	---------	------	-------------------	----------	-------	---------	--------------------	-------	--------

Chapitre IV

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Profit moyen (DA/j)	$6,4 \times 10^5$	$6,3 \times 10^5$	7×10^5	13×10^5	$4,9 \times 10^5$	$9,8 \times 10^5$	$9,9 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	4×10^5	$9,6 \times 10^5$	$4,7 \times 10^5$
----------------------------	-------------------	-------------------	-----------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-----------------	-------------------	-------------------

Suivant la figure 9 et le tableau 21, on trouve que le scénario S1 présente des bénéfices encourageants mais ce type de technique ne convient pas à la gestion de ces villes, car il présente un inconvénient majeur qui est la saturation rapide des casiers.

IV.4.2.2. Le scénario S2 (CM) : le compostage est adapté aux déchets des villes étudiées, en raison de la haute fraction biodégradable. Toutefois, on remarque que les bénéfices sont faibles par rapport au premier scénario avec une diminution de 50% à Oran, 40% à Relizane, 37% à Sidi-Bel-Abbès, de 28% pour Tiaret, Tlemcen et Béchar, 25% pour Mostaganem, de 12 à 15% pour les trois villes Naâma, Ain Témouchent et Saïda, finalement 4% pour Mascara.

Par conséquent et en raison de ces résultats non encourageant, nous sommes obligés d'éliminer l'optimisation pour compostage.

IV.4.2.3. Le scénario S3 (ANB) : l'application de ce scénario donne des bénéfices assez intéressants (tableau 22), mais d'un point de vue économique, le traitement par méthanisation toute seule coûte cher et l'Algérie est un pays producteur et exportateur de gaz, ce qui revient à écarter pour l'instant ce scénario.

Tableau 22. Les bénéfices moyens du troisième scénario (ANB)

Augmentation du profit	S3 par rapport S1 (%)	S3 par rapport S2 (%)
Tiaret	21	38.5
Mostaganem	23	39
Tlemcen	20	38
Oran	13	42
Ain Témouchent	34	43
Relizane	17	42
Saïda	27	37
Mascara	35	37
Sidi-Bel-Abbès	22	43
Naâma	35	43
Béchar	19	37

IV.4.2.4. Le scénario S4 (installations mixtes) :

Les résultats du scénario S4 sont détaillés dans le tableau 23

Tableau 23. Les bénéfices moyens du quatrième scénario (installations mixtes)

Chapitre IV

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

	S4 par rapport S1 (%)	S4 par rapport S2 (%)	S4 par rapport S3 (%)	Moyenne de diminution de S4 par rapport à (S1 et S3)
Tiaret	-4	18	-33	-18,5
Mostaganem	-1	20	-31	-16
Tlemcen	-4	20	-30	-17
Oran	6	37	-8	/
Ain Témouchent	-3	11	-56	-34
Relizane	-17	19	-41	-34
Saïda	12	24	-21	/
Mascara	11	14	-37	/
Sidi-Bel-Abbès	-42	-3	-81	-61
Naâma	-5	7	-63	-34
Béchar	-12	13	-38	-25

Le traitement par ce scénario donne des bénéfices satisfaisants qui ont marqué des diminutions moyennes par rapport à LF et ANB estimées à 18,5% pour Tiaret, 16% pour Mostaganem, 17% pour Tlemcen, 29% pour Relizane et Ain Témouchent, 34% pour Naâma 25% pour Béchar et 61% pour Sidi-Bel-Abbès,.

Pour les trois villes Oran, Saïda et Mascara présentent des diminutions de profit par rapport à (S3) estimées à 8%, 21% et 37% respectivement et des augmentations de 6%, 12% et 11% par rapport à (S1).

Selon le tableau 23, on constate des augmentations de bénéfices de S4 par rapport au compostage S2 qui sont estimées à 18% à Tiaret, environ à 20% à Mostaganem, Tlemcen et Relizane, 37% à Oran, 24% à Saïda, autour de 14% à Mascara et Béchar, 11% à Ain Témouchent, 7% à Naâma.

Alors qu'une diminution de 3% à Sidi-Bel-Abbès.

Par comparaison entre la diminution et l'augmentation de ces profit, on remarque que le scénario S4 donne des résultats importants et satisfaisants ce qui nous oriente de choisir ce scénario comme un système optimal.

En conséquence et d'après la comparaison entre les quatre scénarios (coût et bénéfice), on conclut que le scénario 4 suggère une meilleure combinaison de filières de traitement ou de valorisation des déchets afin de :

- (i) Eviter la saturation rapide du casier dans le centre d'enfouissement technique,
- (ii) Produire du compost, intéressant pour les régions de l'Ouest et Sud Ouest algérien,

- (iii) Produire de l'électricité à partir de méthane récupéré au niveau de LF et ANB,
- (iv) Redynamiser le secteur par les bénéfices acquis par la vente des matières recyclables, le compost et l'électricité. Ceci permettrait de développer l'activité économique de la région par la création d'emploi, l'investissement dans de nouvelles filières de valorisation et participer à la protection de l'environnement.

IV.5. Calcul des bénéfices pour chaque installation de traitement inclus dans le scénario choisi (installations mixtes)

Après avoir déterminé la solution optimale (scénario S4, installation mixte) du système de gestion des déchets ménagers dans les villes citées, nous avons fait la projection de calcul sur les bénéfices au cours de la période 2011-2025 pour chaque installation de traitement proposé dans le scénario S4 (installation mixte : MRF, CM, ANB et LF).

IV.5.1. Tiaret

La composition physique des DM de CET de Tiaret montre que 27% peuvent être valorisés constitués de plastique, papier-carton, verres, métaux, et textile. La figure 10 montre les quantités estimées et valorisées durant 2011-2025 selon la composition physique de ces déchets.

Il est à noter qu'il n'y aucune unité étatique ou entreprise de récupération des matériaux recyclables dans la wilaya de Tiaret, ce qui a obligé les responsables du CET de vendre ses matériaux aux autres wilayas.

IV.5.1.1. Matériels recyclables

Selon les enquêtes que nous avons réalisées, les matériaux recyclables récupérés par le CET sont vendu soit directement comme le papier-carton à l'entreprise de récupération de papier « El Madar for paper », à Rouiba (Alger), ou indirectement à l'aide des petites unités privées qui font à leur tour la revente aux autres usines. Par exemple le plastique est vendu à l'usine de transformation du plastique et de caoutchouc (Métal Gum Sarl) à Oran et les métaux sont vendus à l'unité de recyclage des déchets ferreux et non ferreux aussi à Oran. Ceci à l'aide des petites unités privées intermédiaires activant au niveau de Tiaret.

Alors que la part des verres et textile est très petite ce qui n'a pas eu vendu.

Si le CET a appliqué cette politique de valorisation pour l'ensemble des déchets récupérés, il aurait totaliserait une entrée d'argent de 2,3 milliards de dinars durant 2011-2025 et par conséquent, il couvrirait l'ensemble de ses dépenses et disposera de bénéfices pour d'éventuels investissements dans l'entretien, le contrôle et autres filières de valorisation.

A cet effet, la ville de Tiaret devrait suivre une véritable stratégie dans la politique de la gestion des déchets par l'encouragement d'investir dans la construction d'entreprises pour la transformation de plastique, des industries de recyclage du papier et de verre...

Concernant les 73% des déchets de Tiaret qui restent, ils seront valorisés par compostage et/ou méthanisation.

IV.5.1.2. Compostage

La figure 11 présente les quantités du compost et les prix de vente qui peut générer le CET de Tiaret. La quantité totale de compost est estimée à $2,4 \times 10^5$ tonnes durant 2011-2025. Si cette quantité serait vendue, le CET gagnera plus de 400 millions de dinars. Ce qui favorisera la production du compost surtout que la région de Tiaret est une région fortement agricole.

IV.5.1.3. Méthanisation

Suivant le scénario choisi, on peut produire une quantité de $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ du méthane susceptible d'être générée de 2011 à 2025. Cette production pourrait produire d'électricité et donnera $65 \times 10^6 \text{ kWh / m}^3$, c'est-à-dire un gain d'argent de 300 millions de dinars (figure 12).

Cette valorisation a permis une double valorisation matière et énergétique, en plus d'une réduction de gaz à effet de serre.

IV.5.1.4. Enfouissement technique

Si les résidus des installations de traitement (MRF, CM et ANB) sont enfouis, ils produiront un dégagement du biogaz sous l'action de la dégradation anaérobique. Rappelons que 1 m^3 de biogaz présente 60% de méthane, donc si l'opération est bien effectuée, le CET peut produire plus d'un millions m^3 de méthane c'est-à-dire $48 \times 10^6 \text{ kWh}$ d'électricité ce qui donne un gain d'argent de 225 millions de dinars (tableau 24).

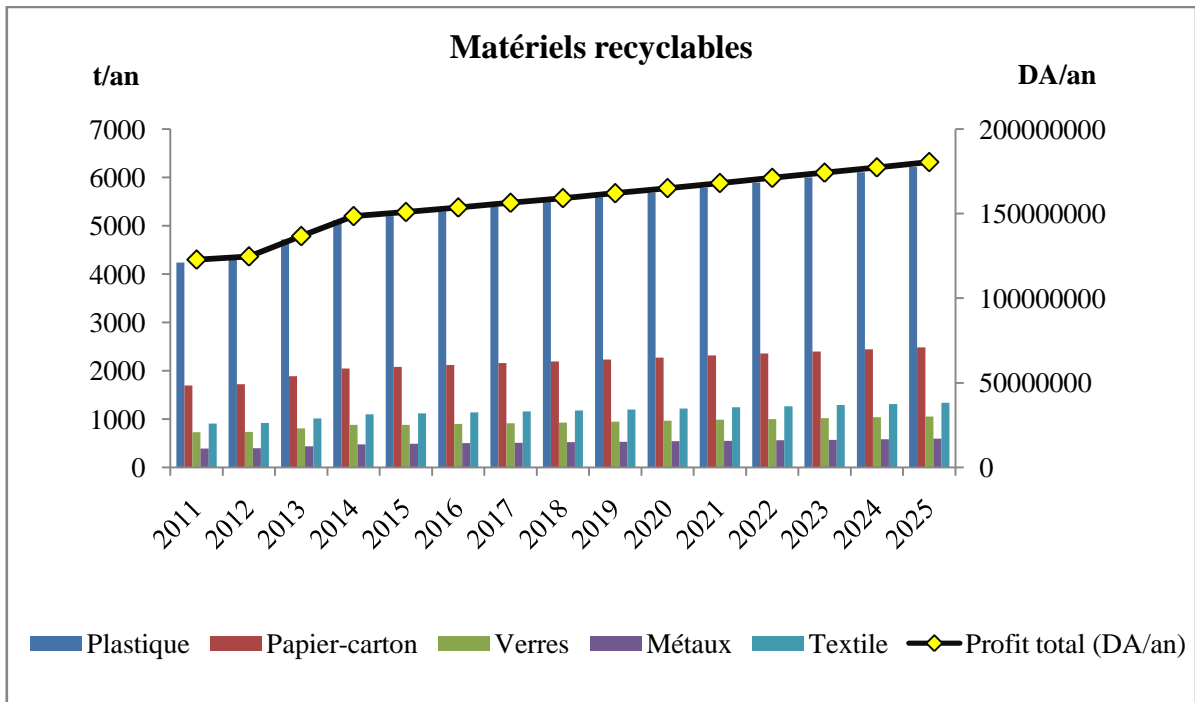


Figure 10. Matériaux recyclables de CET de Tiaret

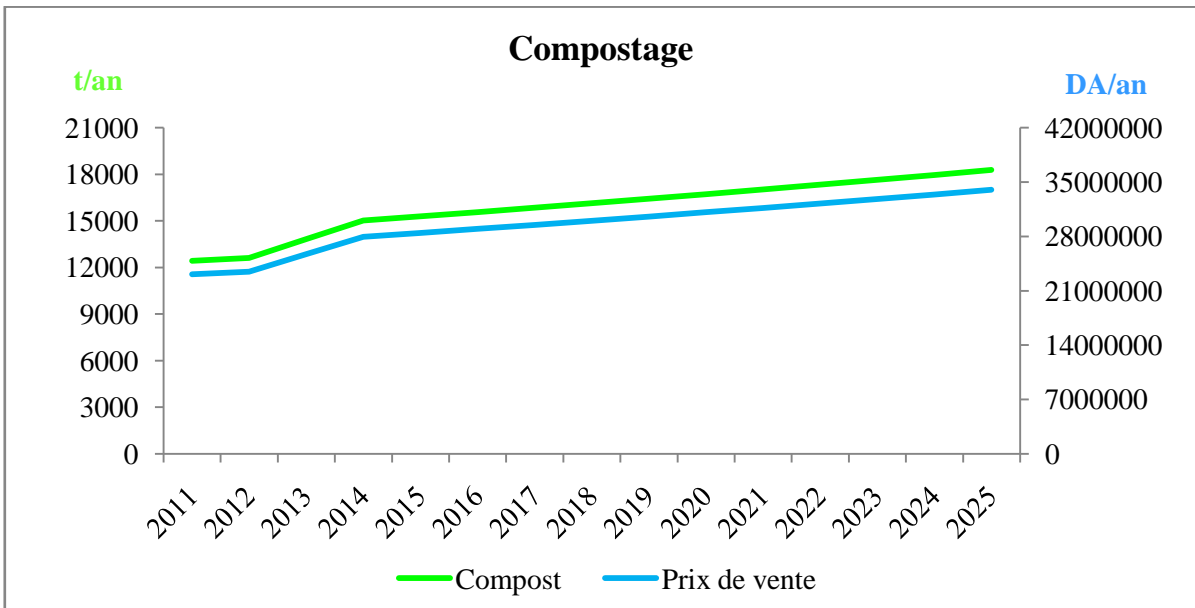


Figure 11. Quantité et prix de vente de compost à Tiaret

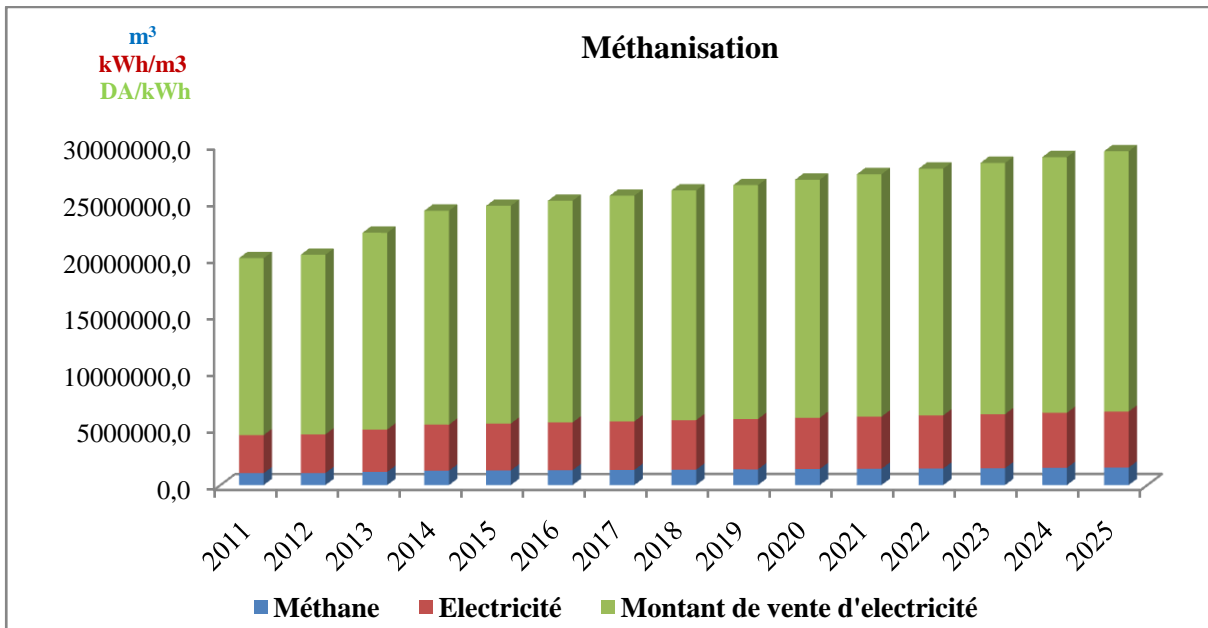


Figure 12. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Tiaret

IV.5.2. Tlemcen

IV.5.2.1. Matériels recyclables

La figure 13 représente la production annuelle de chaque matériau recyclable susceptible d'être récupéré de 2011 à 2025, ainsi que leurs prix de vente par le CET de Tlemcen.

Cette valorisation sert à réduire une quantité totale par catégories estimée à 23×10^4 tonnes en plastique, 20×10^4 tonnes en papier-carton et 18×10^4 tonnes pour la somme des trois matériaux qui restent durant la période 2011-2025, génératrice d'un gain total de plus de 11 milliards de dinars.

Les autorités de CET devraient transférer et commercialiser ces déchets valorisables à des entreprises spécialisées dans le marché de la récupération. Ce bénéfice peut servir à l'amélioration du site, créer d'autres activités et au budget de fonctionnement du site, permettant ainsi son autonomie.

IV.5.2.2. Compostage

A noter qu'il y avait déjà une unité de compostage à Tlemcen mais elle a été fermée après quelques années d'exploitation. Si cette unité serait ré-ouverte, elle présentera une grande opportunité pour la ville.

Selon la figure 14, les quantités qui peuvent être produites par cette valorisation sont estimées à 6×10^5 tonnes de compost durant 2011-2025 avec un gain total de 1,2 milliard de dinars. Il existe donc, pour les sols de Tlemcen, un besoin immense en engrais alors que cette quantité de compost produite peut servir à l'enrichissement ses terres agricoles.

La ville de Tlemcen a de nombreuses ressemblances avec les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien en termes de valorisation énergétique des déchets soit par méthanisation ou par transformation du biogaz au cours de l'enfouissement technique.

IV.5.2.3. Méthanisation et enfouissement technique

Les résultats de notre étude montre que le CET de Tlemcen produira durant 2011-2025 environ 52 millions de m³ de méthane et 42 millions de m³ par méthanisation et enfouissent technique respectivement. Ces quantités peuvent produire plus de 290 millions kWh d'électricité, ce qui donne une totalité de gain estimée à 1,3 milliards de dinars (figure 15 et tableau 24).

Cette valorisation sert à réduire la quantité des déchets, par conséquent la prolongation de la durée de vie de CET et lutte contre le dégagement des gaz à effet de serre.

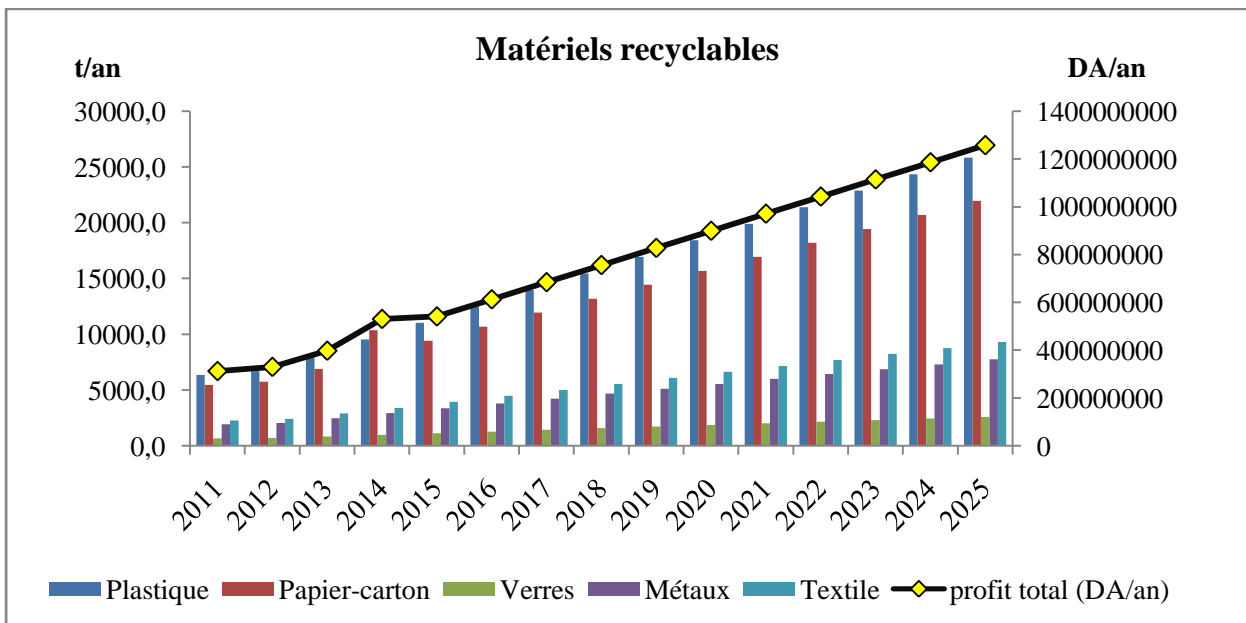


Figure 13. Matériels recyclables du CET de Tlemcen

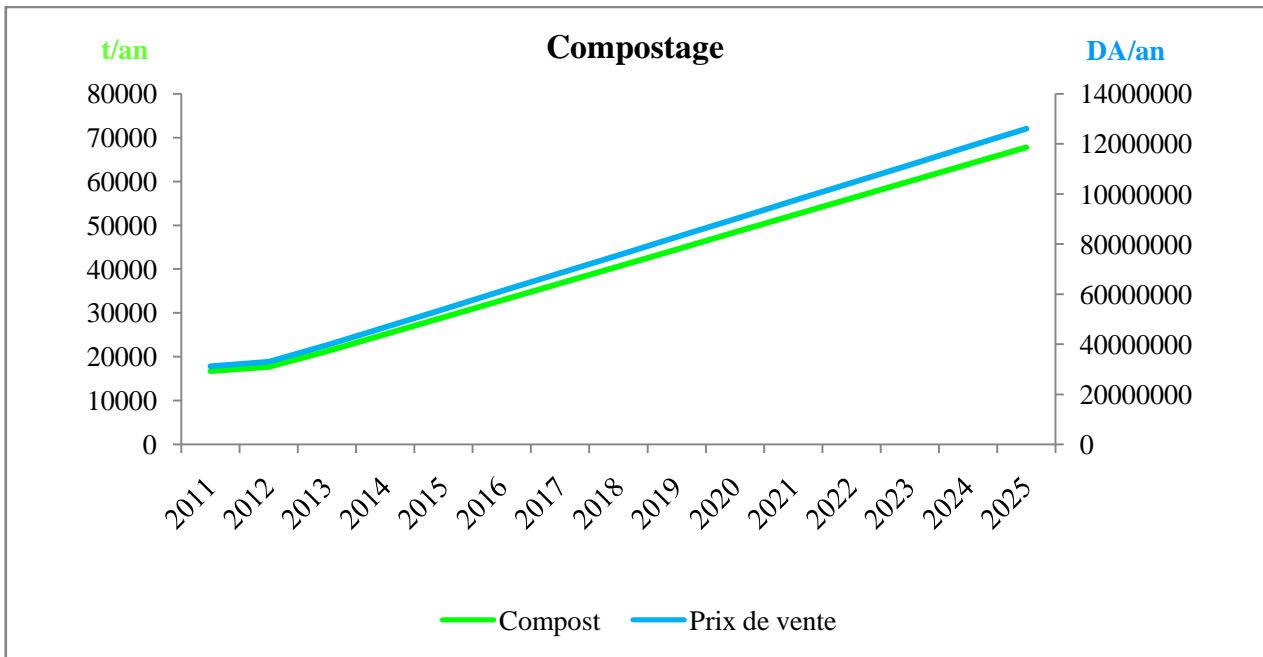


Figure 14. Quantité et prix de vente de compost à Tlemcen

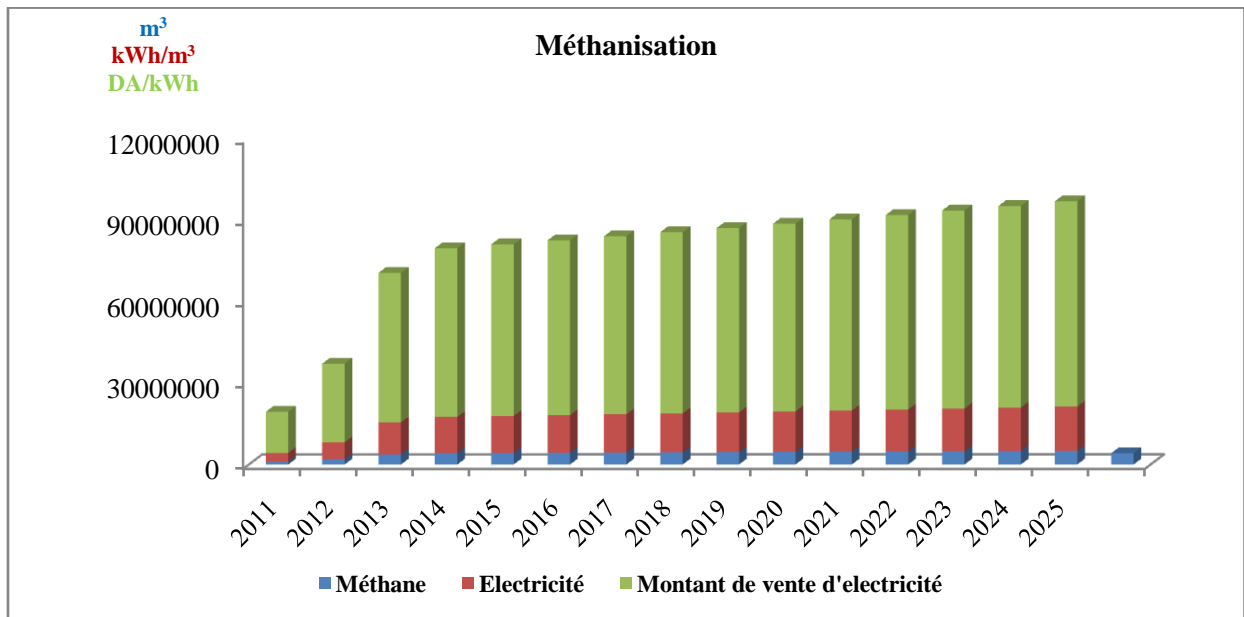


Figure 15. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Tlemcen.

IV.5.3. Mostaganem

IV.5.3.1. Matériels recyclables

La récupération et le recyclage des DM de la ville de Mostaganem peuvent donner des matières premières pour différentes activités économiques ou industrielles. Cette politique peut avoir aussi un impact positif sur la chaîne de la gestion des déchets.

Dans le but d'argumenter cette politique, nous avons évalué le coût de cette valorisation par catégorie de déchet durant 2011-2025.

Suivant la figure 16, on remarque que les quantités récupérées sont importantes, particulièrement, le plastique et le papier-carton qui sont prédominant durant les années d'étude sauf qu'en 2011, il n'y a pas eu de récupération importante suite à l'ouverture récente de CET.

Si le CET de Mostaganem procédait à la valorisation de ses déchets par la récupération et la vente, il pourrait gagner près de 9 milliards de DA durant 2011-2025, ce qui représente un manque à gagner important pour le CET.

Pour qu'on puisse réaliser cette politique sur terrain, l'état et les services chargés de la gestion des déchets ménagers de la ville de Mostaganem devraient assurer d'abord le tri et la collecte sélective, ensuite encourager à la création de petites entreprises de récupération de ces déchets par catégorie.

IV.5.3.2. Compostage

Pour le compostage, les paramètres physico-chimiques de la matière organique de Mostaganem favorisent le compostage de cette fraction des déchets. En effet, si on projette les résultats des années d'étude, on remarque que l'investissement dans le compostage est rentable. Pour la durée (2011-2025), les bénéfices réalisés seraient estimés à 1,3 milliard de dinars pour des quantités de compost produites de $7,4 \times 10^4$ tonnes (figure 17).

IV.5.3.3. Méthanisation

Concernant la méthanisation, la production de méthane est estimée durant 2011-2025 à 4 millions de m^3 qui pourraient être transformés en 2×10^8 kWh d'électricité avec des prix de vente de 925 millions de dinars (figure 18).

IV.5.3.4. Enfouissement technique

Pour l'enfouissement technique, le biogaz produit est transformé en méthane dont la quantité totale est estimée à $5,2 \times 10^7 m^3$ donc 150 millions kWh d'électricité serait produire ce qui nous donne 7×10^8 DA (tableau 24)

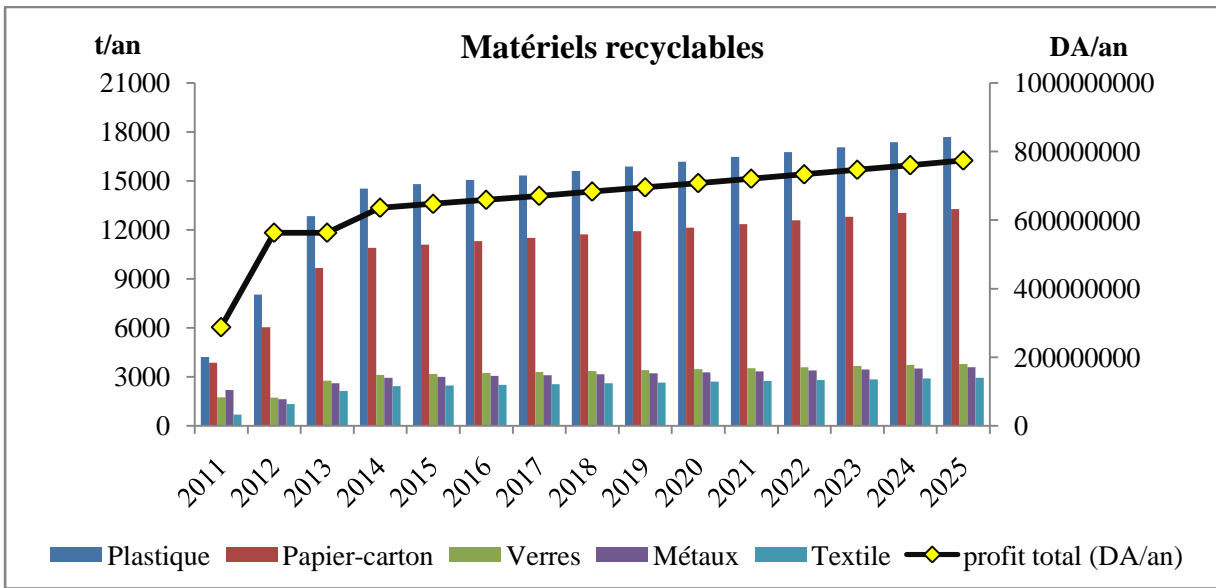


Figure 16. Matériels recyclables du CET de Mostaganem

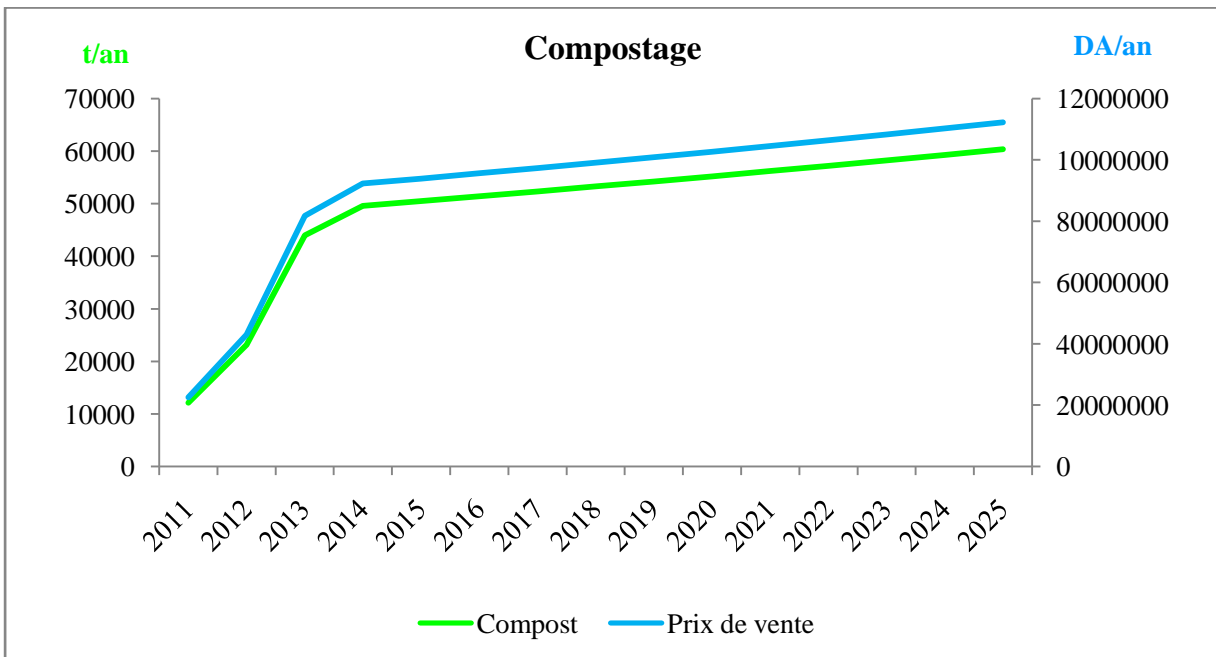


Figure 17. Quantité et prix de vente de compost à Mostaganem

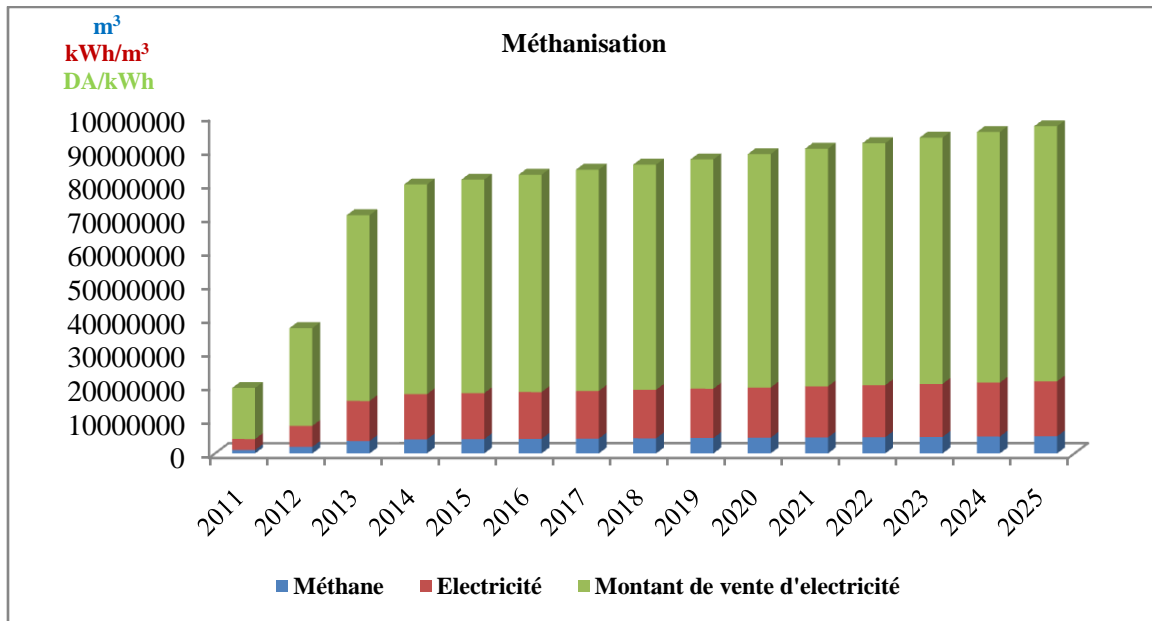


Figure 18. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Mostaganem

IV.5.4. Ain Témouchent

IV.5.4.1. Matériels recyclables

Selon la figure 19, le CET d'Ain Témouchent peut générer une quantité totale de 11×10^4 tonnes de matériaux recyclables durant 2012-2025, ce qui offre un prix de vente total de $17,6 \times 10^6$ de dinars.

On remarque que la quantité des déchets en plastique est supérieure tout au long de la durée d'étude, ce qui a obligé les autorités de l'environnement de prendre une décision d'installer une entreprise de transformation du plastique.

Environnement Organique Solutions (EOS) est la première entreprise de production de sachets biodégradables et de recyclage de plastique créée en Algérie. Elle a démarré officiellement ses activités en novembre 2015, dans la zone industrielle de Tamzoura (Ain Témouchent).

EOS occupe, dans un premier temps, 18 ha sur une superficie globale estimée à 205 ha. Sa production annuelle est estimée à 1900 tonnes de sachets biodégradables avec la création de plus de 400 emplois.

Cette entreprise est considérée comme un futur pôle industriel. Elle est en mesure de relever de nombreux défis pour la protection de l'environnement, notamment pour la disparition des sachets usés à l'origine de sa dégradation.

IV.5.4.2. Compostage

Pour le compostage, les résultats de calcul (figure 20) montrent que l'investissement dans cette valorisation est intéressant pour le CET en particulier et la wilaya en général. Une quantité de 1,4

million de tonnes de compost pourra être généré durant 2012-2025 permettant la réduction des engrais chimiques dangereux. Le montant de vente de cette quantité est estimé à $2,4 \times 10^8$ DA ce qui peut satisfaire la demande économique et les dépenses du CET.

IV.5.4.3. Méthanisation et enfouissement technique

La dégradation anaérobie de DM d'Ain Témouchent est effectuée soit par méthanisation en produisant 12×10^6 m³ de méthane (figure 21) ou 10×10^6 m³ par enfouissement technique (tableau 24).

Si on convertit en électricité la quantité totale du méthane des deux installations, on aura 7×10^7 kWh dont le montant de vente sera égal de 320 millions de dinars.

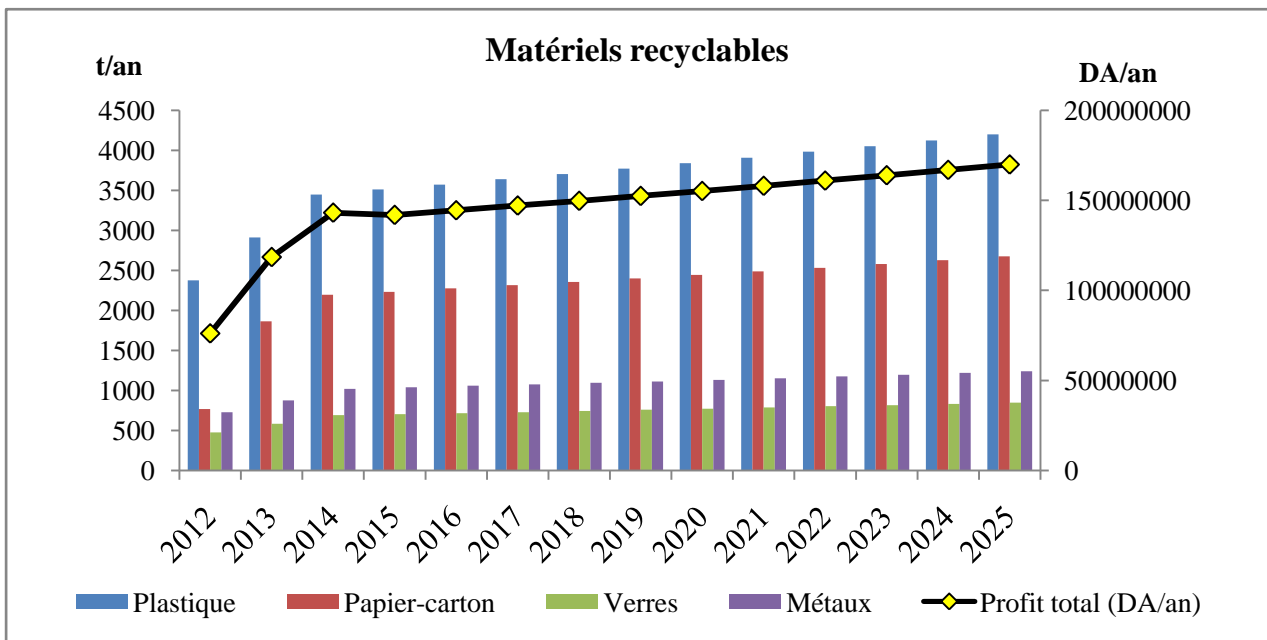


Figure 19. Matériels recyclables du CET de Ain Témouchent

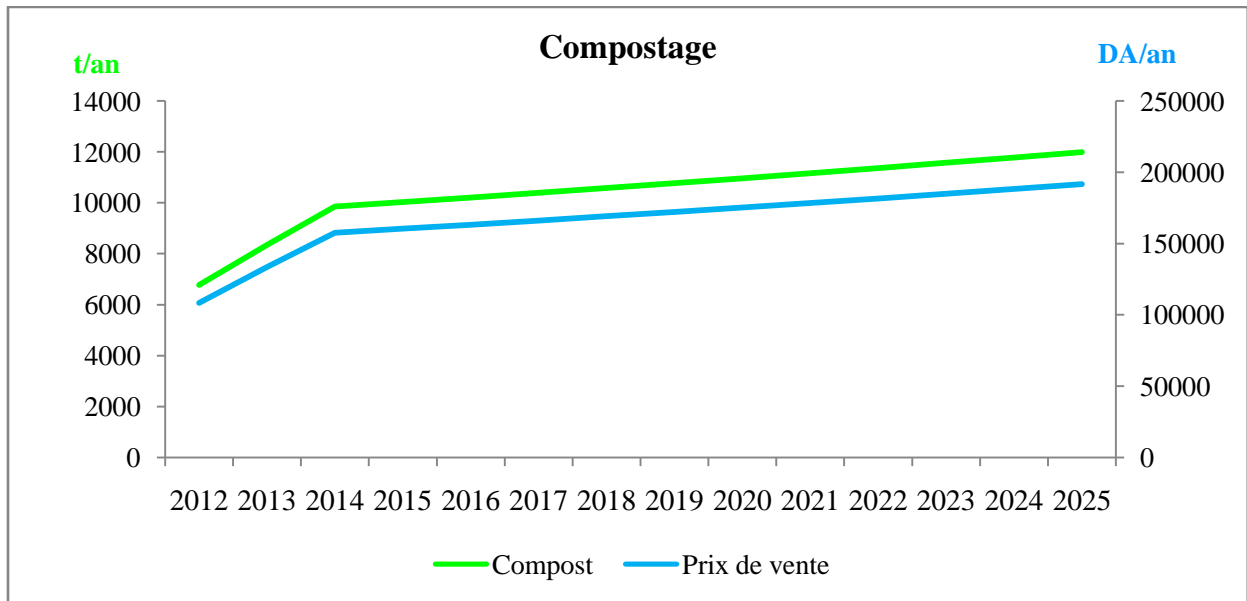


Figure 20. Quantité et prix de vente de compost à Ain Témouchent

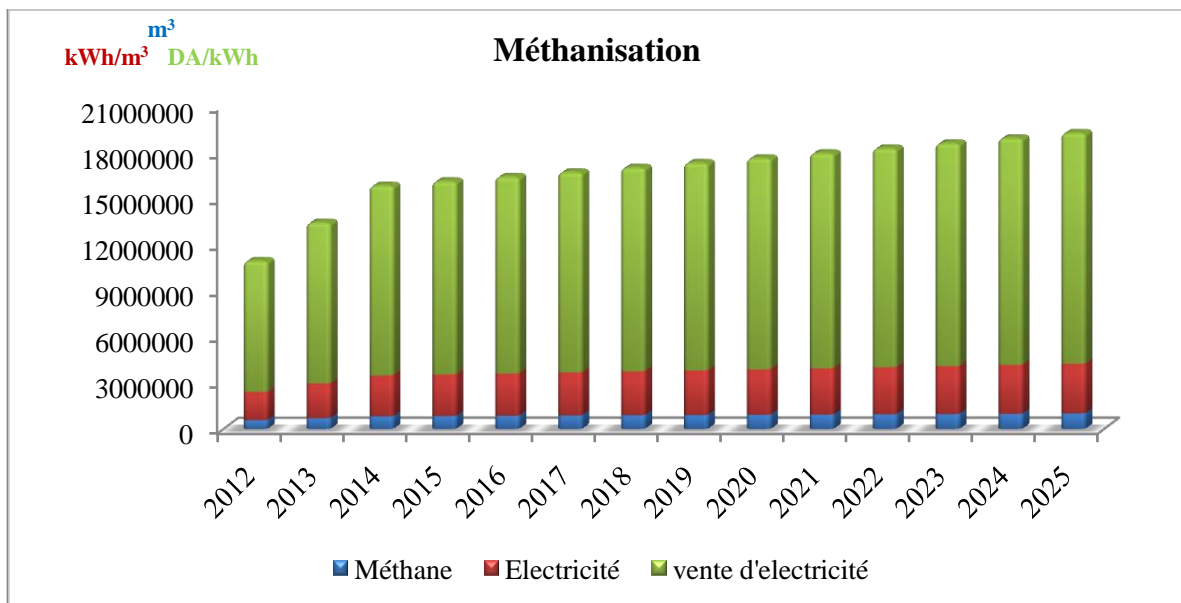


Figure 21. Résultats de méthanisation relatifs au CET d'Ain Témouchent

IV.5.5. Oran

IV.5.5.1. Matériels recyclables

D'après la figure 22, le CET d'Oran génère une quantité des déchets recyclables importante estimée à 5×10^5 tonnes durant la période 2012-2025 et qui peut générer un profit total d'environ 10 milliards de dinars. Cette valorisation peut servir à faire une ouverture économique dans la région. La wilaya d'Oran a donné, ces derniers temps, une grande importance au recyclage et valorisation des déchets.

Chapitre IV

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Selon les enquêtes qu'on a fait, une opération pilote a été lancée, en 2015, sous le titre « Recyclage des déchets domestiques à partir de la source » au niveau de quelques communes exploitées par le CET étudié. Elle a été favorablement accueillie par les habitants et donné des résultats satisfaisants.

Ainsi que dans la même année, le CET d'Oran s'est équipé d'une chaîne de tri des DMA. Selon les services de la direction de l'environnement, l'opération de tri des déchets se déroule dans de bonnes conditions. Elle a permis de générer 11 emplois directs au niveau du site en plus de postes créés auprès des entreprises privées activant dans le domaine de la collecte et celui du transfert des déchets triés.

Le secteur de l'environnement compte également transformer cette chaîne de tri de Hassi Bounif (Oran) en un centre de tri indépendant du CET. Le projet doit être réceptionné début 2017 avec une capacité de traitement de plus de 150 tonnes de déchets / jour.

Donc, en collaboration avec les efforts des autorités de l'environnement et la volonté des habitants, le CET d'Oran va développer le secteur de la valorisation et recyclage des déchets en une activité économique viable et rentable.

IV.5.5.2. Compostage

Pour le compostage, selon la direction de l'environnement d'Oran, le CET étudié a installé une unité pilote de production de compost en septembre 2015, cette unité a produit 30 tonnes de compost après une année de sa mise en service.

Si le CET développera cette unité pilote en une grande entreprise de production, il pourra générer une quantité importante de compost parce que d'après nos résultats, la quantité totale générée durant 2012-2025 sera égale à $7,3 \times 10^5$ tonnes dont les prix de vente seront de plus de 1,3 milliard de dinars (figure 23).

IV.5.5.3. Méthanisation et enfouissement technique

Concernant la méthanisation, le CET n'a pas encore procédé à l'installation d'une unité pour transformer le biogaz dégagé par la dégradation de la matière organique, mais si ce projet sera réalisé à l'avenir, la quantité de méthane produite durant 2012-2025 sera estimée à $61 \times 10^6 \text{ m}^3$ et $48 \times 10^6 \text{ m}^3$ par enfouissement technique, transformée en électricité et vendue, elle apportera $3,4 \times 10^8 \text{ kWh}$ avec un profit de 1,5 milliard DA (figure 24 et tableau 24).

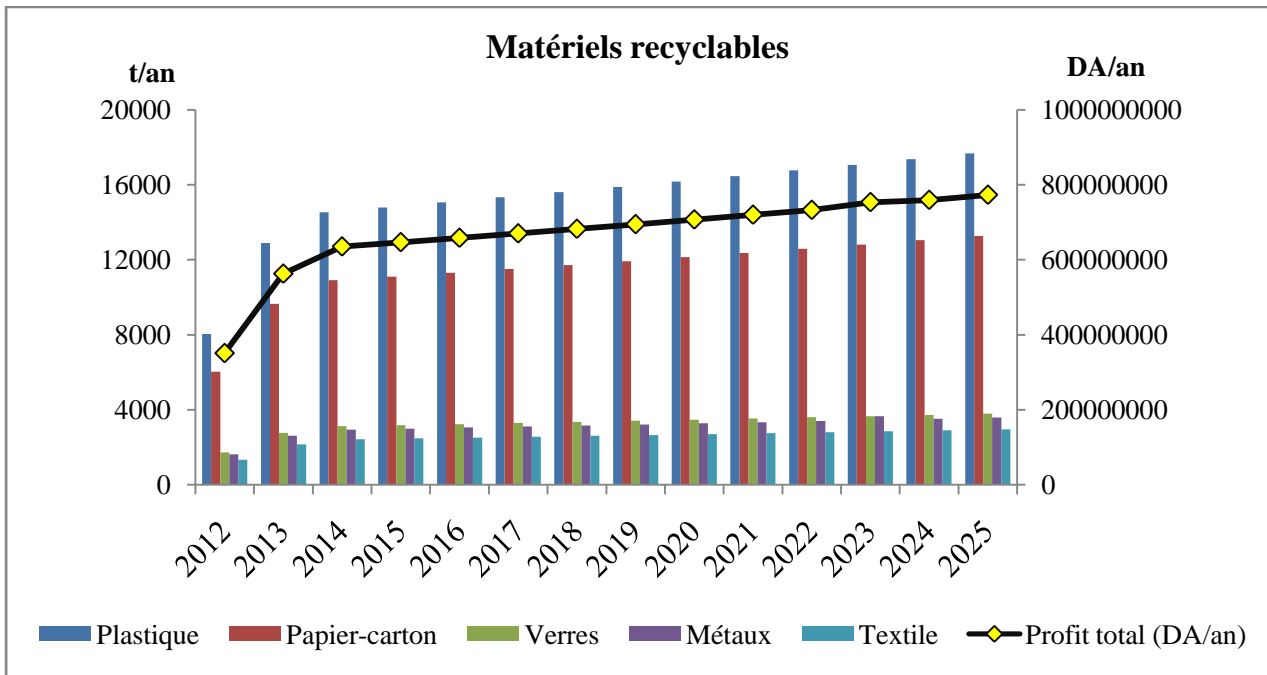


Figure 22. Matériels recyclables du CET d'Oran

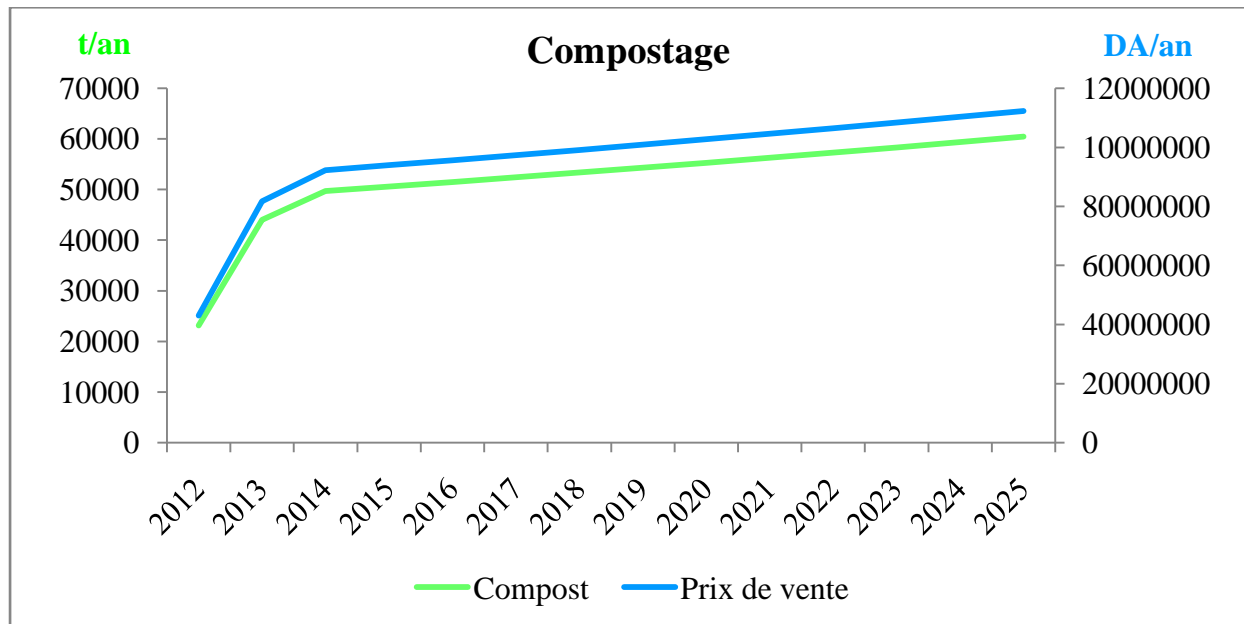


Figure 23. Quantité et prix de vente de compost à Oran

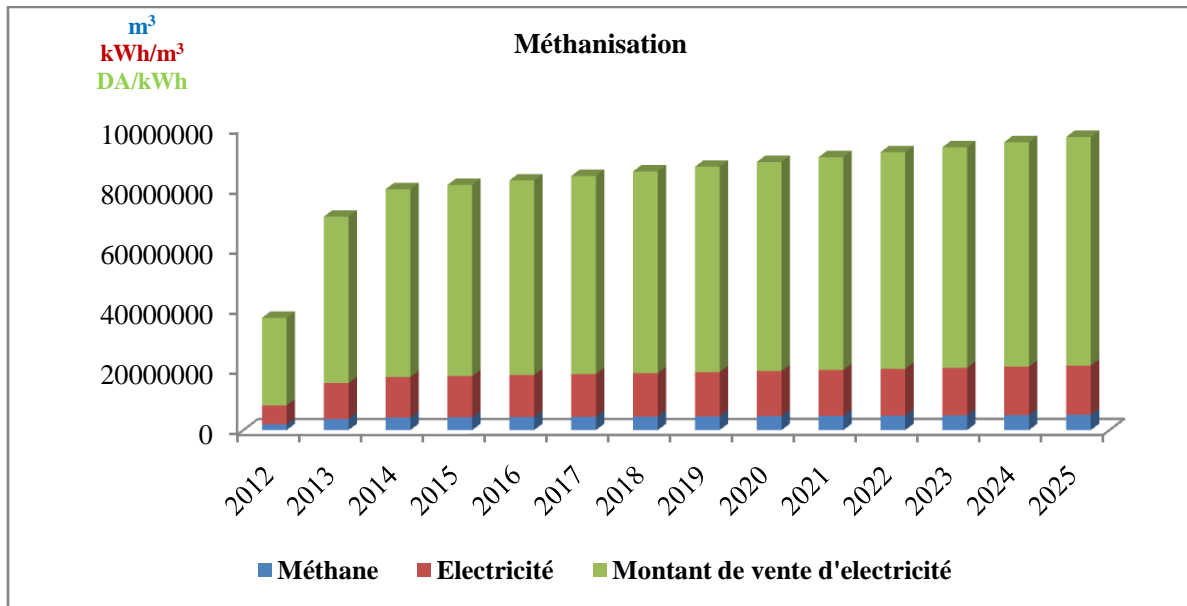


Figure 24. Résultats de méthanisation relatifs au CET d'Oran

IV.5.6. Relizane

Le CET de Relizane est classé le deuxième après celui d'Oran en terme de superficie (36 ha), ce qui permet d'installer des unités de recyclage et/ou valorisation des déchets reçus.

D'après nos enquêtes, parmi les matériaux recyclables récupérés, le plastique et le verre sont vendus à des entreprises privés, dont deux unités pour le PET, une autre pour le PEHD et une autre pour le verre. Le reste des matériaux (papier-carton et métaux) sont stockés au CET.

Si la récupération au niveau du CET consiste à réutiliser et valoriser les différentes matières qui entrent dans la composition des déchets durant (2011-2025) on peut :

- Générer une quantité totale de 3×10^5 tonnes de matériaux recyclables (figure 25), ce qui permet d'économiser des matières premières ainsi que de l'énergie et de créer des postes d'emploi.
- Produire plus de 5×10^5 tonnes de compost c'est-à-dire un gain de 9×10^8 DA (figure 26)
- Récupérer de 77×10^6 m³ de méthane par méthanisation et enfouissement technique (figure 27 et tableau 24).
- Transformer le méthane en $2,4 \times 10^7$ kWh d'électricité.
- Gagner 1,1 milliard de dinars par la vente d'électricité.

D'après ces résultats et si le CET de Relizane effectuerait une bonne stratégie de gestion des déchets, il obtiendra, aux meilleurs coûts, un bon taux de valorisation à la fois de la matière et de l'énergie.

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

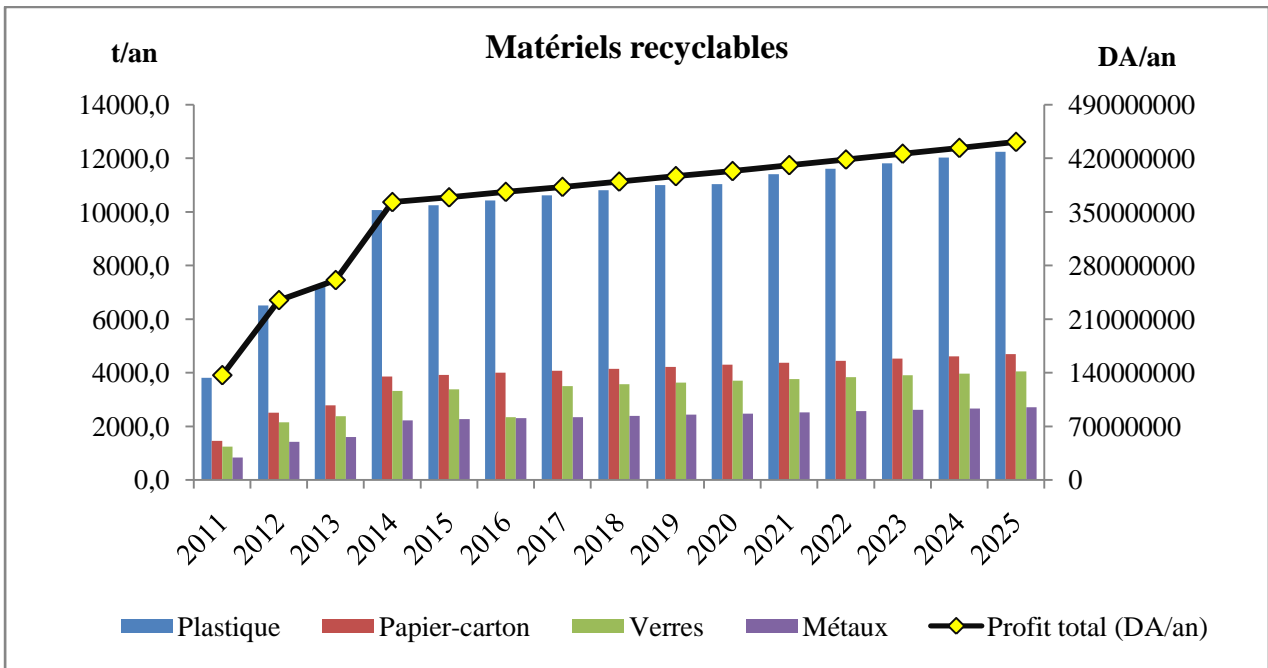


Figure 25. Matériels recyclables du CET de Relizane

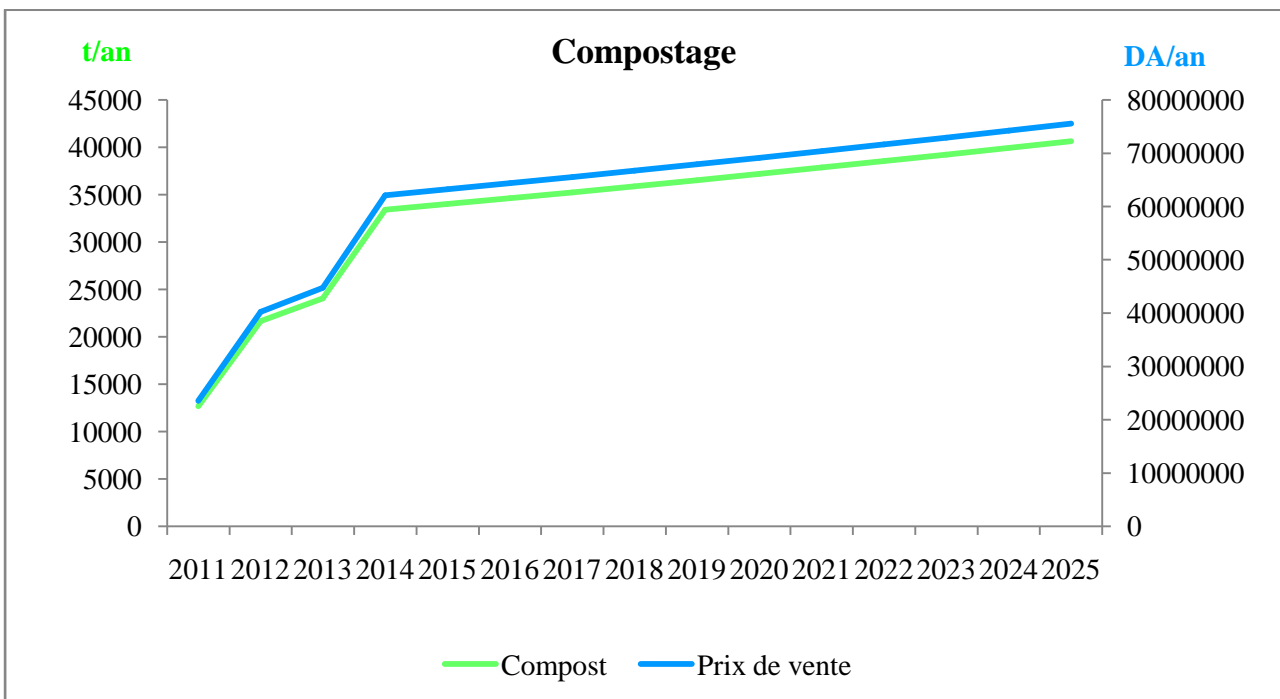


Figure 26. Quantité et prix de vente de compost à Relizane

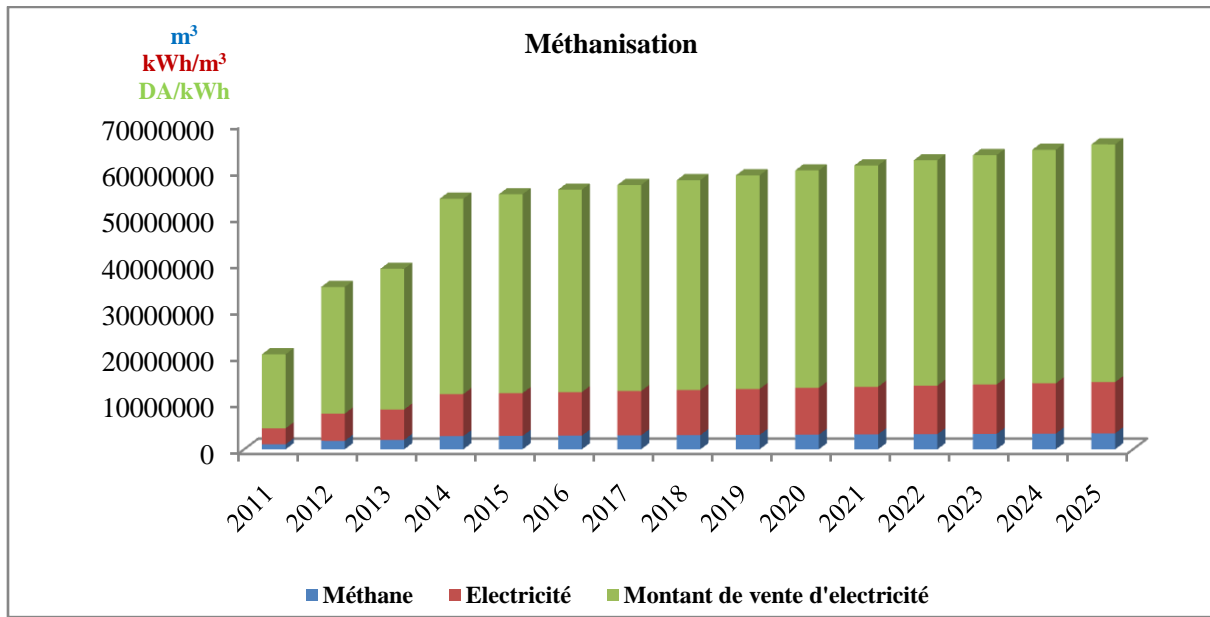


Figure 27. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Relizane

IV.5.7. Saïda

Saïda est parmi les premières villes qui ont bénéficié d'un centre d'enfouissement technique et deux centres de transfert, malgré cela, la gestion de leurs déchets reste non effectuée. La seule valorisation qui est faite est de vendre quelques quantités des matériaux recyclables informellement soit au niveau du CET ou au cours de transport dans le centre de transfert.

A cet effet, nous avons évalué les quantités de ces matériaux recyclables ainsi que la part des déchets fermentescibles afin d'aider les décideurs, les exploitants, les principaux concernés et encourager l'investissement dans les filières de valorisation.

Nous avons fait une estimation jusqu'à l'année 2025 pour les matériaux recyclables, compost, méthane et électricité ainsi que leur prix de vente de ces produits durant la période d'estimation. Les résultats de calcul sont donnés dans les figures 28, 29 et 30 ainsi que dans le tableau 24.

- Production de 140×10^3 tonnes en matériaux recyclables, ce qui donne un prix de vente de 2,7 milliards de dinars
- 190×10^3 tonnes de compost, générant $3,5 \times 10^8$ DA.
- Production de 16×10^6 m³ de méthane par méthanisation et enfouissement technique.
- Une quantité totale de 90×10^6 kWh d'électricité.
- Des prix de vente estimés à $4,2 \times 10^8$ DA par la vente d'électricité.

Ces résultats forts intéressants montrent l'utilité de valoriser l'ensemble des déchets récupérés.

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

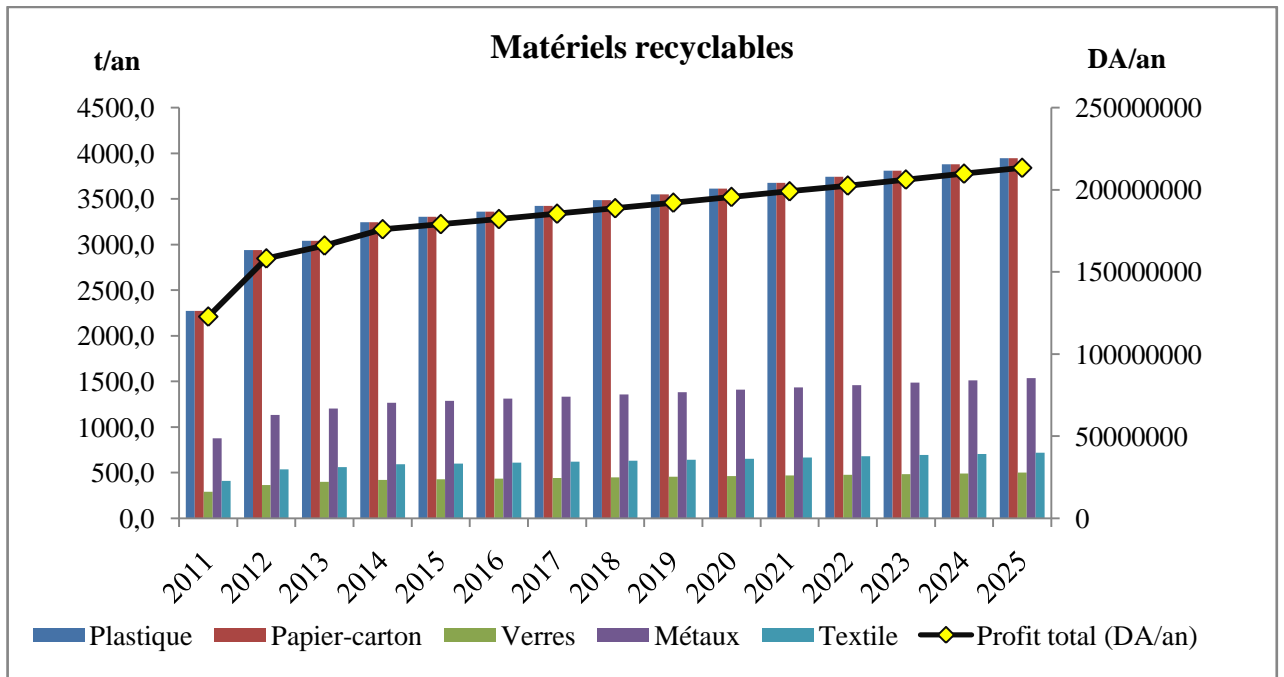


Figure 28. Matériels recyclables du CET de Saïda

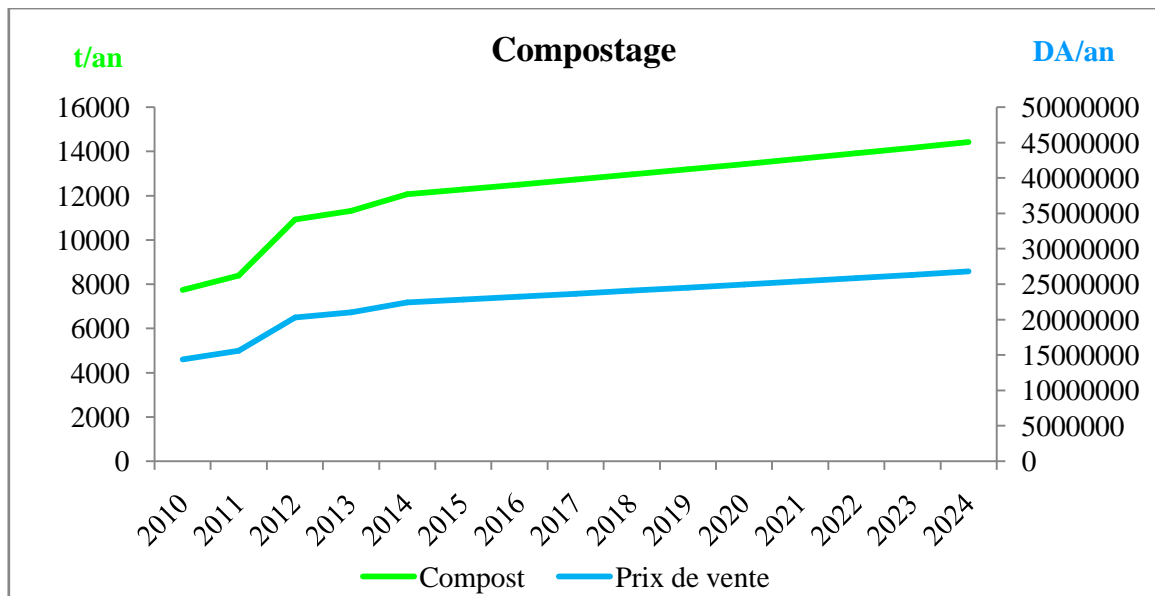


Figure 29. Quantité et prix de vente de compost à Saïda

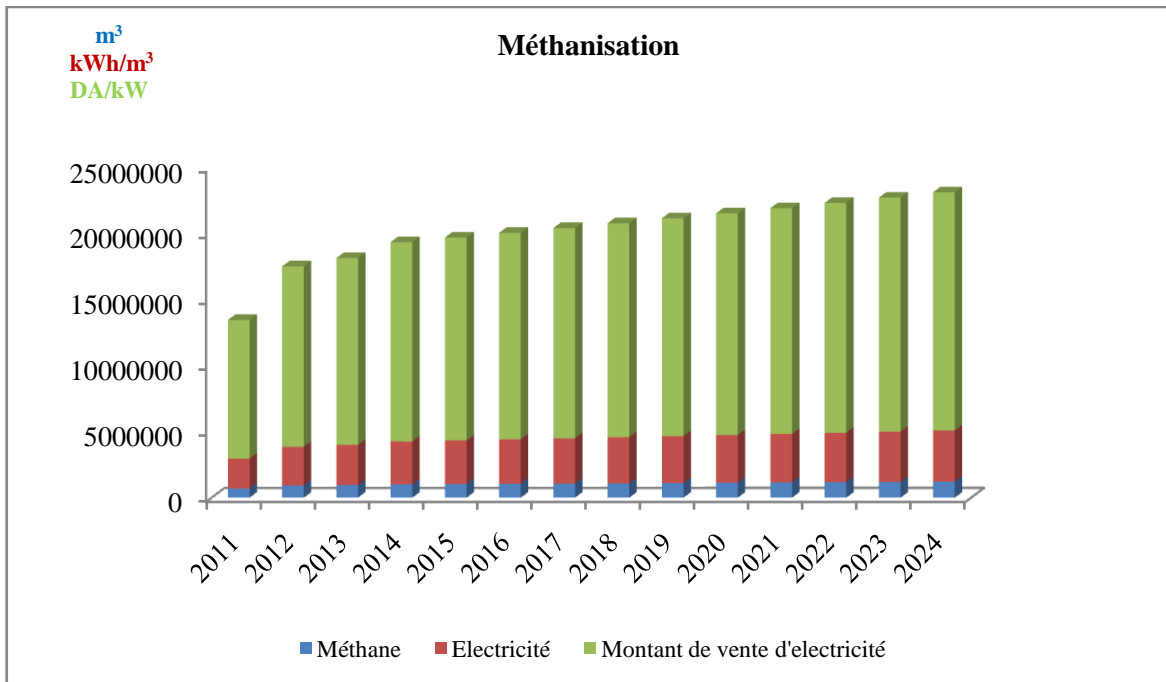


Figure 30. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Saïda

IV.5.8. Mascara

Rappelons que notre étude a été effectuée sur le CET de Mohammedia (à 35 km de la ville de Mascara), c'est le plus petit CET dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien voir tableau 8.

IV.5.8.1. Matériels recyclables

Malgré que les quantités des déchets reçue au CET sont faibles, mais les résultats de l'optimisation montrent que la récupération de la part recyclable de ces déchets durant 2012-2025 qui est estimée à 2×10^5 tonnes pourra générée $5,1 \times 10^9$ de dinars (figure 31).

IV.5.8.2. Compostage

La part des bio-déchets permet l'utilisation d'engrais naturel avec une quantité totale autour de 16×10^4 tonnes de compost. Cette production pourra réduire la quantité des engrais chimiques dangereux et satisfaire la demande pour la région qui est essentiellement agricole (figure 32).

IV.5.8.3. Méthanisation et enfouissement technique

La méthanisation et l'enfouissement technique génèrent des quantités importantes de méthane ($2,7 \times 10^7 \text{ m}^3$), ce qui permet sa valorisation énergétique en électricité ($8,4 \times 10^7 \text{ kWh}$) et évite son émission dans l'atmosphère en tant que gaz à effet de serre et de disposer d'une source économique pour le CET estimée à $2,1 \times 10^8 \text{ DA}$ (figure 33 et tableau 24).

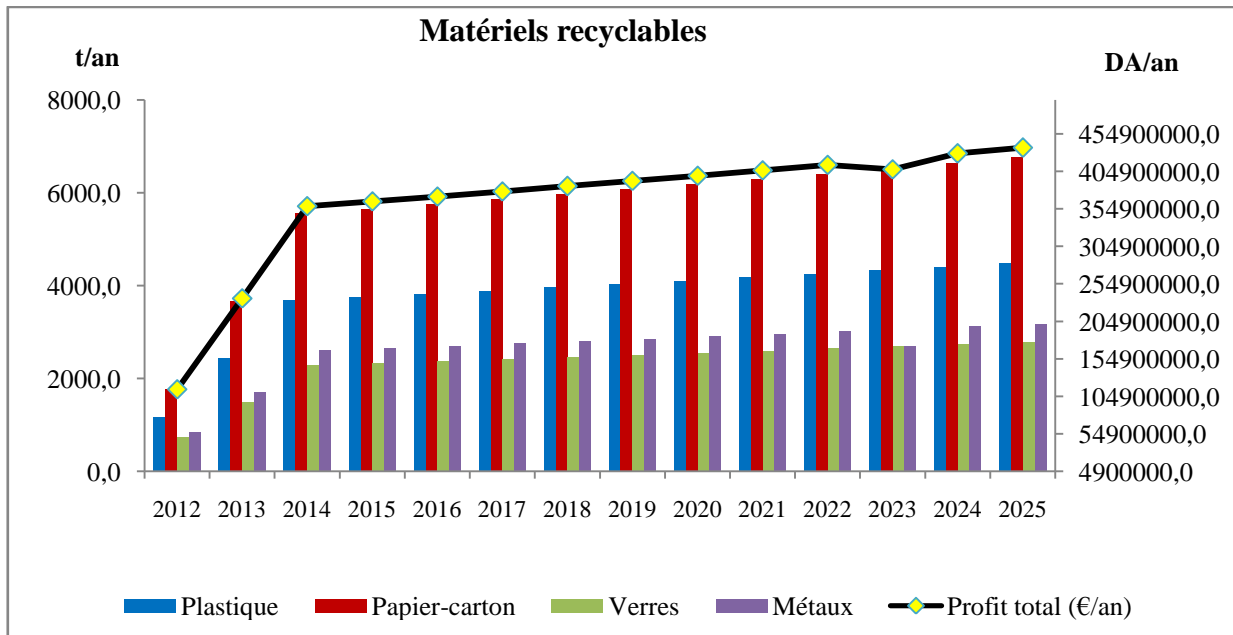


Figure 31. Matériels recyclables du CET de Mascara

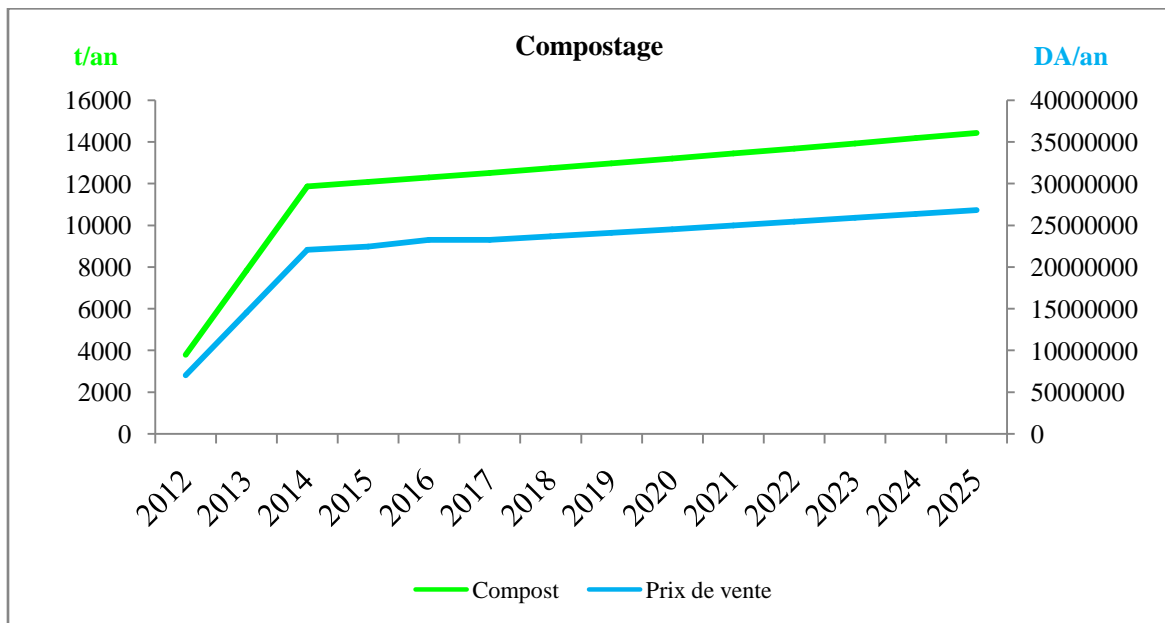


Figure 32. Quantité et prix de vente de compost à Mascara

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

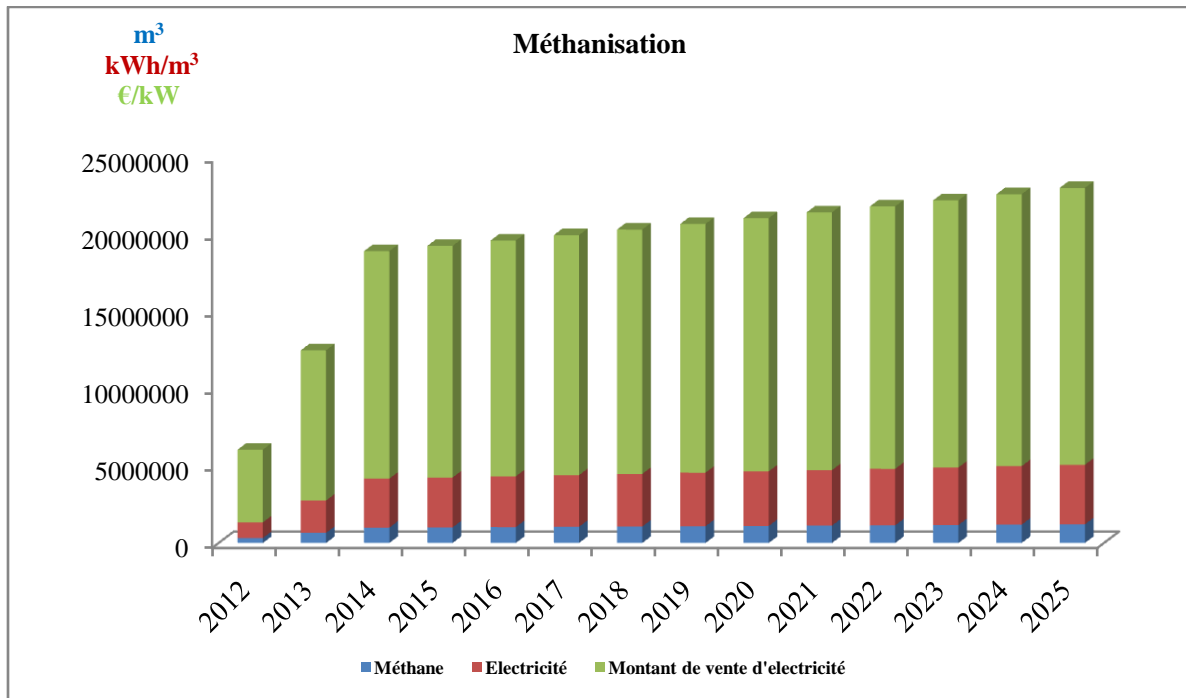


Figure 33. Résultats de méthanisation relatifs au CET de Mascara.

Chapitre IV

Optimisation de la gestion des déchets ménagers dans quelques villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien

Tableau 24. Quantités de méthane et de l'électricité générée par l'enfouissement technique dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien (2011-2025)

CET	De 2011 à 2015				De 2016 à 2020				De 2021 à 2025			
	Biogaz (tonne)	Méthane (m ³)	Electricité (kWh)	Montant de vente d'électricité (DA/kWh)	Biogaz (tonne)	Méthane (m ³)	Electricité (kWh)	Montant de vente d'électricité (DA/kWh)	Biogaz (tonne)	Méthane (m ³)	Electricité (kWh)	Montant de vente d'électricité (DA/kWh)
Tiaret	27374,16	4829684,6	14054382,4	65 313 526,4	31933	5634030,3	16395028,3	76 190 971,8	34912	6159681	17924671,7	83 299 538,0
Mostaganem	72390,8	12578749,5	36604161,2	170 106 852,4	107315,4	18682162,4	54365092,7	252 645 457,9	117326	20424727,8	59435958	276 210 781,7
Tlemcen	51812,9	8872804,9	25819862,4	119 990 065,0	83487,6	14298355,4	41608214,3	193 361 696,7	121700,6	20844272,6	60656833	281 884 432,0
Oran	67411,9	11725202	34120337,8	158 564 032,4	107315,4	18682162,4	54365092,7	252 645 457,9	117326	17782992,6	59435958	276 210 781,7
Ain Témouchent	14039,4	2451062,1	7132590,8	33 146 572,2	21309	3707711,4	10789440,3	50 140 685,6	23297,1	4053601	11795978,8	54 818 266,6
Relizane	49567,3	8774423,5	25533572,3	118 659 618,1	70713,7	12517797,1	36426789,5	169 282 578,5	77312,4	13685928,4	39826051	185 079 619,6
Saïda	22346,4	3860089,5	11232860,4	201 347	26343	4550618	13242298,3	61 539 616,6	28798,3	4974796,1	14476656,6	67 275 922,7
Mascara	15033,4	2519280,9	7331107,5	069 122,8	26938,3	4514003,3	13135749,6	61 044 457,4	29449,3	4934702,2	14359983,5	66 733 710,7
Sidi-Bel-Abbes	40423	6937545,2	20188256,6	93818870,2	40423	6937545,2	20188256,6	93818870	40423	6937545,2	20188256,6	93818870
Naâma	16862	2996018,35	871841,4	40516206,6	16862	2996018,35	871841,4	40516206,6	16862	2996018,35	871841,4	40516206,6
Béchar	28759,3	4935461,6	14362193,2	66743981	37970	6516337,5	18962542	88122727,5	41511,7	7124120	20731189,4	96341986,1

IV.6. Calcul des quantités de gaz à effet de serre émises

Les émissions des gaz à effet de serre (GES) dans les pays en développement représentent environ 29% du total mondial avec une quantité estimée à 129 Tg d'équivalent CO₂, mais cette part entière devrait augmenter sensiblement et rapidement pour atteindre environ 64% en 2030 c'est à dire 964 Tg d'équivalent CO₂ (Monni et al, 2006).

Les principaux gaz émis par le secteur des déchets sont le méthane (CH₄), le dioxyde de carbone (CO₂) et le protoxyde d'azote (N₂O) obtenus lors de la décomposition aérobie et anaérobie de la matière organique. Le pouvoir réchauffant global de ces GES est égal à 1 pour le CO₂, 25 pour le CH₄ et 298 pour N₂O.

Le choix du meilleur scénario étant déterminé (scénario 4), il est utile et indispensable de connaître les quantités dégagées des GES. Ainsi, nous avons déterminé ces quantités pour chaque installation incluse dans ce scénario.

IV.6.1 Installation de récupération

Le recyclage, par la récupération et la vente des matériaux qu'il représente, a toute son importance dans la réduction des GES, selon l'association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement (Astee, 2013). Les quantités des GES générées par une tonne de chaque matériau recyclable sont estimées à 2290 kg éq CO₂ en plastique, 40 kg éq CO₂ en papier/carton, 460 kg éq CO₂ en verre et 6890 kg éq CO₂ en métaux.

D'après cette étude, on constate que le recyclage dans les villes étudiées durant 2011-2025 permet d'éviter les rejets mentionnés dans le tableau 25.

Tableau 25. Les quantités de GES évitées par le recyclage durant (2011-2025)

CET	Gaz à effet de serre en (Ggéq CO ₂)			
	Plastique	Papier-carton	Verres	Métaux
Tiaret	193	1,35	54,4	55
Mostaganem	437	7,8	11,2	123
Tlemcen	544	8,2	11,09	495
Oran	490	6,4	21,1	300
Ain Témouchent	117	1,2	4,7	104
Relizane	350	2,3	22,4	230
Saïda	118	2	3,02	137
Mascara	127	3,3	15,2	263

IV.6.2. Compostage

Si le compost donne des avantages intéressants pour les régions d'étude par ses qualités d'amendement des sols, de remplacement des engrais chimiques, il présente aussi un inconvénient qui est l'émission du gaz N_2O dû à l'azote initialement contenu dans les déchets.

Les émissions de N_2O sont évaluées à 1,141 kg par tonne de compost (Deportes et al, 2012). Les résultats sont présentés dans la figure 34.

IV.6.3. Méthanisation

L'application de la méthanisation dans la région d'étude permet de transformer le biogaz et réduire les GES avec une quantité totale durant 2011 à 2025 estimée à $22 \times 10^7 m^3$ en méthane ce qui donne une moyenne annuelle de $18 \times 10^5 m^3$. Le CO_2 dégagé par la combustion du biogaz est compensé par le CO_2 absorbé par les végétaux lors de leur croissance. Par conséquent, la méthanisation ne dégage pas de GES.

IV.6.4. Enfouissement technique :

Les gaz dégagés par l'enfouissement technique se composent principalement de méthane, un gaz à effet de serre (GES) 21 fois plus réchauffant que le dioxyde de carbone.

Pour notre étude, si le biogaz est brûlé en torchère dans le cadre d'une valorisation, il sert à réduire des quantités importantes de méthane (tableau 24). Toutefois, il provoque un dégagement d'émissions de CO_2 qui sont évaluées à 1,18 kg de CO_2 par $1m^3$ de biogaz brûlé (Astee, 2013). Les résultats de calcul sont montrés dans la figure 34 durant la durée 2011-2025.

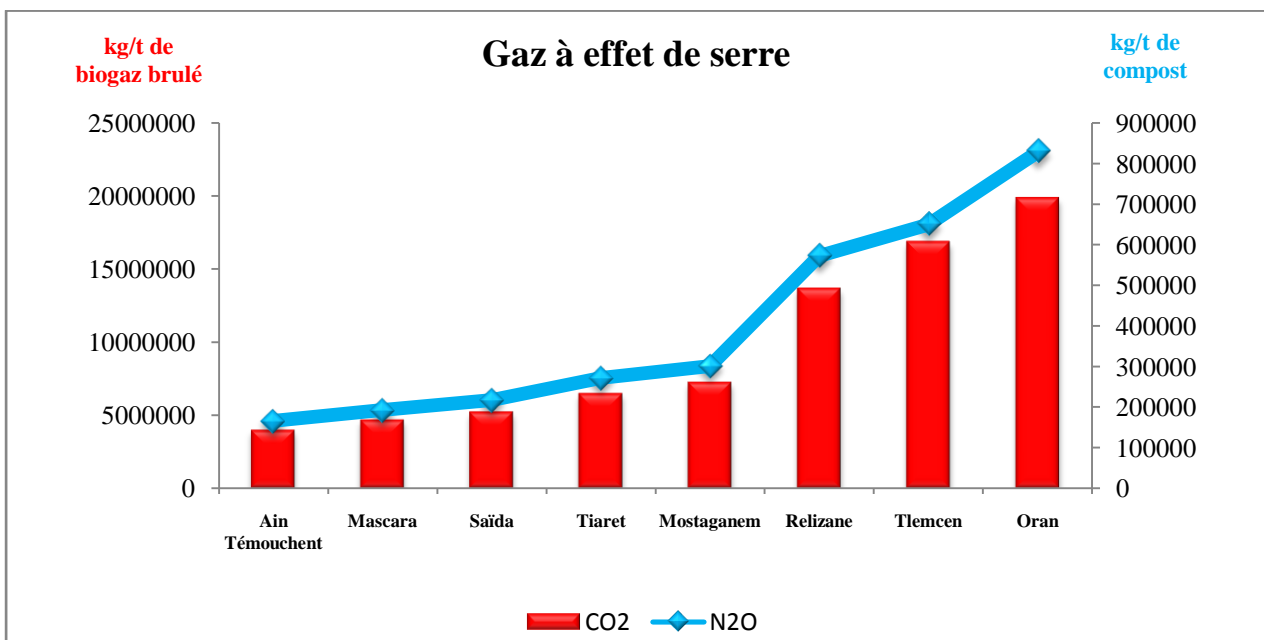


Figure 34. Quantité totales des gaz à effet de serres générées durant 2011-2025

D'après les résultats présentés dans les figures 34, on remarque que le compostage génère moins de GES par rapport à l'enfouissement technique, où la quantité des CO₂ dégagée par le brûlage du biogaz est autour de 24 fois plus de la quantité N₂O dégagé pour chaque ville. On peut interpréter ces résultats en deux points de vue différents :

- D'un point de vue de la concentration des deux gaz dans la troposphère, le CO₂ est 1000 fois concentré que le N₂O (K.E.Potter, 2011), donc on constate que l'enfouissement technique participe 24000 fois plus à l'effet de serre que le compostage.
- D'un point de vue de pouvoir de réchauffement globale (PRG) à 100 ans des deux gaz, on trouve que le N₂O est plus important que le CO₂, car le PRG de CO₂ est égale à 1 alors qu'il est égale à 298 pour le N₂O (CITEPA, 2016).

Puisque l'unité de compostage dégagera durant (2011-2025) une quantité totale pour l'ensemble des villes étudiées 3200 tonnes de N₂O correspondant à 992000 tonnes équivalent CO₂ dans son bilan d'émission de gaz à effet de serre, alors que l'enfouissement technique génère environ 77000 tonnes équivalent CO₂ durant cette période.

IV.7. Valorisation des déchets ménagers dans la région de l'Ouest et Sud Ouest algérien durant la période 2011-2025

Après avoir étudié la valorisation des déchets ménagers au niveau de chaque ville étudiée, nous avons jugé utile de faire un calcul total pour toute la région de l'Ouest et Sud Ouest algérien pour confirmer notre choix de scénario.

Les résultats de calcul sont donnés dans la figure 35.

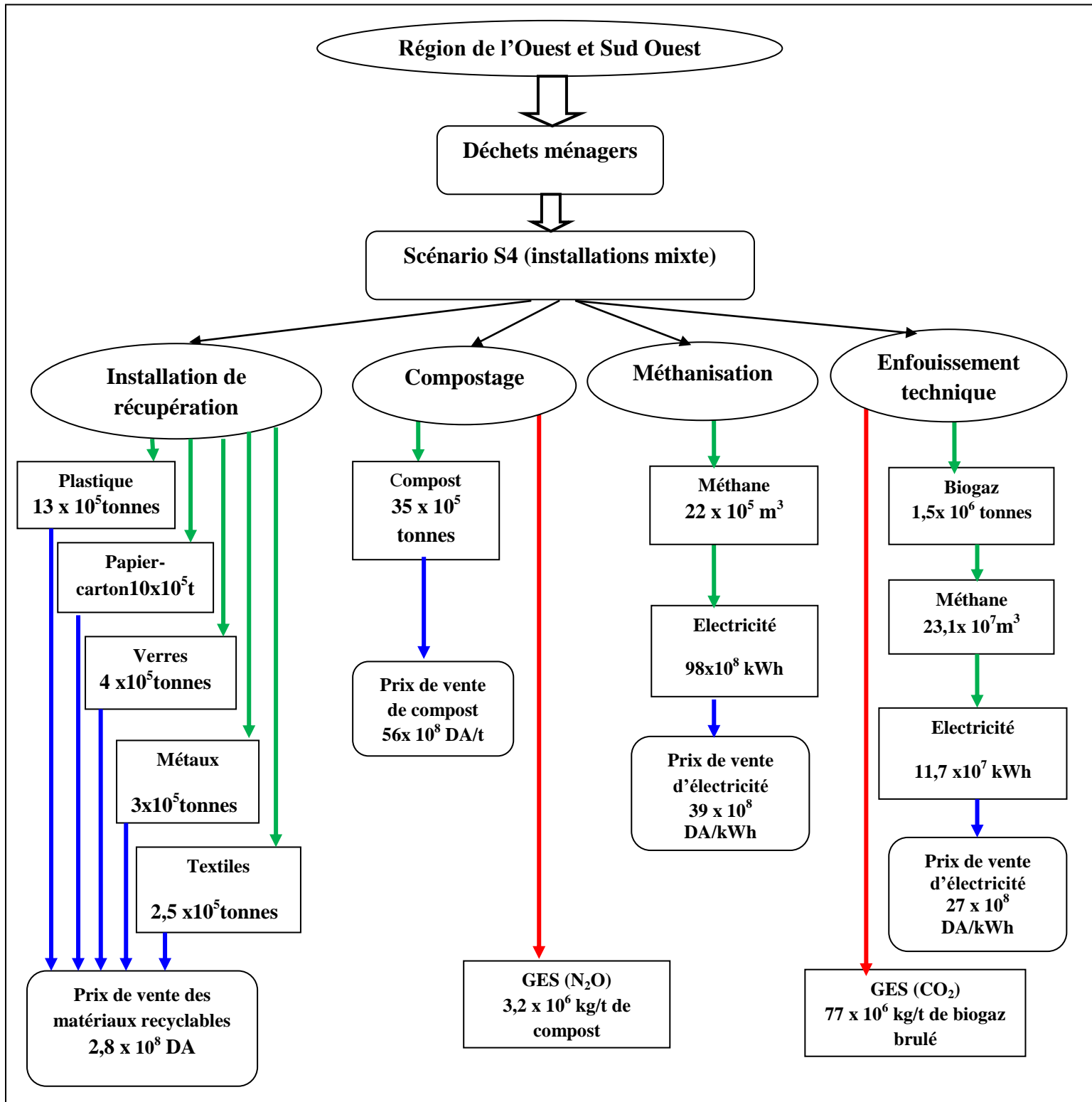


Figure 35. Valorisation des déchets ménagers dans la région de l'Ouest et Sud Ouest algérien (2011-2025)

Conclusion générale

Cette étude a permis, pour la première fois, de contribuer à l'étude de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Ouest et Sud Ouest algérien (Tiaret, Mostaganem, Tlemcen, Oran, Relizane, Sidi-Bel-Abbès, Ain Témouchent, Mascara, Saïda, Naâma et Béchar).

Elle a mis en évidence, à partir de données récoltées sur site et par calcul les quantités des déchets par jour et par habitant, leurs composition physique, leur caractérisation chimique et microbiologique, la situation de la gestion par rapport à des villes algériennes, des villes de pays en développement et de pays industriels, les bénéfices dans les différentes filières valorisables (récupération, compostage, méthanisation et enfouissement technique).

Nos résultats montrent que la production journalière des déchets ménagers dans les villes citées varie en fonction des villes et selon le nombre des communes appartiennent à chaque CET étudié.

Nous avons trouvé dans les petits CET (Mascara, Tiaret, Mosataganem, Ain Témouchent, et Saïda) une quantité de 50 à 150 t/j, alors qu'elle est entre 180 et 220 t/j dans les moyens CET (Relizane et Tlemcen), tandis qu'elle atteint les 400 t/j dans le grand CET (Oran).

A l'exception des trois CET (Naâma, Sidi-Bel-Abbès et Béchar) qui font la pesée des déchets en forfait.

Le ratio moyen de la région d'étude est estimé à 0,40 kg/hab/j. Ce faible ratio est souvent le résultat de la valorisation des ordures ménagères dans l'agriculture, l'alimentation du bétail dans les milieux ruraux dans quelques communes.

Les déchets ménagers dans l'Ouest et Sud Ouest algérien sont principalement constitués de matière organique avec une proportion de 69,2%. Cette valeur met la région dans le même niveau avec les pays en développement contrairement aux pays industrialisés dont cette fraction reste inférieure généralement à 50 %. Les fractions recyclables : plastiques, papier-carton, verre, textiles et métaux représentent respectivement 12%, 9,6%, 2,4%, 2,7% et 1,7% ; les autres catégories 2,3%.

Suite aux enquêtes sur terrain que nous avons effectué, la seule gestion de ces déchets appliquée dans l'ensemble des villes citées, exception faite pour Oran et Ain témouchent, repose sur l'enfouissement technique avec ce qu'elle sous-tend comme avantages dans l'élimination des déchets mais aussi comme inconvénients et risques sur l'environnement et sur la santé publique, le risque de surcharge rapide des casiers et le débordement de lixiviats non traités.

En plus des limites de cette politique de gestion, la présence des secteurs privés informels au sein de certaines étapes de la gestion des déchets (collecte et récupération) pose beaucoup de problème. Alors que ce service peut s'investir d'avantage par son appui formel, son personnel, son expérience dans une gestion intégrée de DMA.

Conclusion générale

En plus de cela, on relève également deux problèmes majeurs de la gestion des déchets au niveau des villes investies que constituent le tri sélectif et la collecte qui résultent au premier lieu au manque de moyens humains et matériels, aux pratiques mal maîtrisées et aux manques d'expérience au niveau du personnel technique et administratif.

Cependant, la création d'un dispositif de tri sélectif exige toute une chaîne de mesures, commençant par la compétence des acteurs qui doit être bien établie, des poubelles spécifiques pour la pré-collecte (plastique, papier-carton, verres, métaux, etc...), et des équipements de collecte à des installations de traitement par type de matière récupérée.

La participation des ménages à cette chaîne est une clé importante, ceux-ci doivent d'abord réduire leurs déchets à la source, tenter la sélection et faciliter la collecte. Par conséquent, le gouvernement devait mettre en place des campagnes de sensibilisation et d'information qui doivent devenir une action répétitive des services chargés au sein des ménages pour accepter d'effectuer un effort de tri et parvenir à long terme à une gestion plus efficace des déchets.

Dans le but d'améliorer la situation de la région de l'Ouest et Sud Ouest algérien en termes de déchets ménagers, et assurer la politique de la loi 01-19, on a tenté de proposer une optimisation de la gestion de ces déchets basée sur le principe de 3R-VE (**R**éduction à la source, **R**écupération ou réemploi, **R**ecyclage, **V**alorisation et **E**limination) afin de concevoir un système optimal, ce qui a fait l'autre part de notre étude.

Nous avons utilisé une méthodologie simplifiée avec des données réelles des quantités de déchets. Le modèle développé a été testé en utilisant quatre scénarios (S1 : enfouissement technique (LF), S2 : compostage (CM), S3 : méthanisation (ANB) et S4 : installations mixtes) pour analyser la faisabilité économique et le potentiel d'un système des déchets ménagers efficace.

L'interprétation des résultats de l'optimisation ont montré que le choix des installations du système des déchets ménagers a été fortement influencé par les coûts de ces installations, la quantité, la composition des déchets à traiter et la capacité de réduire les émissions de GES.

Les résultats de calcul montrent que :

- Le coût de traitement par S1 est le plus faible et estimé à $2,6 \times 10^6$ DA/j avec des bénéfices moyennes de $7,3 \times 10^5$ DA/j.
- Le coût de traitement par compostage (S2) présente plus de 30% par rapport à S1, toutefois ses bénéfices sont réduits de 29%.
- Le S3 présente un coût beaucoup plus élevé (83% par rapport à S1 et 75% par rapport à S2). Ce scénario donne des bénéfices plus importants (24% par rapport à S1 et 40% par rapport à S2).

Conclusion générale

- Le coût de traitement par S4 est augmenté de 74,5% et 61,8% par rapport à S1 et S2 et diminue de 51,8% par rapport à S3. Ses bénéfices moyen sont diminués de 5% et 39% par rapport à S1 et S3 et augmentent de 16% par rapport à S2.

D'après ces résultats, nous avons trouvé que le traitement par enfouissement n'est pas convenable malgré qu'il présente des bénéfices encourageants, mais il provoque la saturation rapide des casiers. Le compostage (S2) est plus adapté aux déchets des villes étudiées, en raison de la haute fraction biodégradable, mais il présente des faibles bénéfices.

Le traitement par méthanisation (S3) toute seule coûte cher et l'Algérie est un pays producteur et exportateur de gaz, ce qui revient à écarter pour l'instant ce scénario.

Enfin, on conclut qu'il existe un équilibre entre les quatre installations dans le scénario 4, ce qui donne un système optimal dont il suggère une meilleure combinaison de technologies de traitement des déchets. Il pourrait fournir s'il est appliqué à la région de l'Ouest et Sud Ouest algérien, durant la période (2011-2025), des gains assez importants, soit :

- ✓ $2,8 \times 10^8$ DA par la récupération et la vente des matériaux recyclables
- ✓ Réduction de GES de 4×10^3 Ggégq CO₂.
- ✓ 56×10^8 DA par la vente des composts
- ✓ 39×10^8 DA et 27×10^8 DA par la vente de l'électricité générée par méthanisation et enfouissement technique respectivement.

Par conséquent, ce scénario sert à : (i) éviter la saturation rapide des casiers dans le centre d'enfouissement technique, (ii) produire du compost tout en diminuant les engrais chimiques, (iii) produire de l'électricité à partir de méthane récupéré au niveau de LF et ANB, (iv) augmenter les bénéfices par la vente des matières recyclables, le compost et l'électricité ce qui permettrait d'avoir des activités économiques non négligeables, et éventuellement développer d'autres types de valorisation et protéger l'environnement par la réduction des gaz à effet de serre.

Donc, on peut constater que ce modèle pourrait être étendu et réalisé sur le terrain en Algérie pour prendre efficacement la gestion des déchets existants et participer à la protection de l'environnement.

Références bibliographiques

Abdelli IS, Asnoune M, Arab Z, Abdelmalek F and Addou A (2015) Management of household waste in sanitary landfill of Mostaganem district (Western Algeria). *Journal of Mater Cycles and Waste Management* 440: 1438-4957 .doi : 10.1007/s10163-015-0415-6.

Addou A (2009) Développement durable traitement des déchets valorisation élimination, Ed. Ellipses, France.

Adefemi SO and Awokunmi EE (2009) The impact of municipal solid waste disposal in Ado-Ekiti metropolis, Ekiti-State, Nigeria, *Afr. journal of environmental science and technology* 3 (8):186-189.

ADEME (2008) Campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères : que trouve-t-on aujourd'hui dans nos poubelles ?, Résultats de la campagne MODECOM 2007-2008. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=62275&ref=23117&p1=B>

AFNOR NF EN 26461-1 – ISO 6461-1 (1993) Qualité de l'eau– Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfite-réducteurs (clostridia). Partie 1 : méthode par enrichissement dans un milieu liquide.

AFNOR NF EN ISO 17-995 (2005) Qualité de l'eau – recherche et dénombrement d'espèces thermotolérantes du genre *Campylobacter*.

AFNOR NF EN ISO 4833, Mai 2003, Microbiologie des aliments - Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes.

AFNOR NF EN ISO 6579 (2002) Microbiologie des éléments – Méthode horizontale pour la recherche des *Salmonella* spp.

AFNOR NF EN ISO 7899-1 (1999) Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux dans les eaux de surface et résiduaires – Partie 1: méthode miniaturisée (nombre le plus probable) pour ensemencement en milieu liquide.

AFNOR NF V08-050 (2009) Microbiologie des aliments - Dénombrement des coliformes présumés par comptage des colonies.

AFNOR NF V08-060 (2009) Microbiologie des aliments - Dénombrement des coliformes thermotolérants par comptage des colonies.

AFNOR XP-T 90-412 (2006) Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des staphylocoques pathogènes – Méthode par filtration sur membrane.

AFNOR (1996) Dechets : Caracterisation d'un echantillon de dechetsmenagers et assimilés; Eds AFNOR; 24 p.

Aina M, Matejka G, Thonart P, Hillisgmann S (2007) Caractérisation physico-chimique de l'état de dégradation de déchets stockés dans une décharge sèche (zone semi- aride): site expérimental de Saaba (Burkina Faso). Déchets, Sciences et Techniques n°47 /Juillet-Aout-Septembre 2007

Aina MP (2006) MSW Landfills Techniques in Developing Countries: Methodology and Experimental Applications. Thèse de Doctorat. Université de Limoges, France.

ALAIN D (2006) Guide du traitement des déchets. Ed. DUNOD, France.

Aloueimine SO (2006c) Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat N°012. Université de Limoges.

Aloueimine SO, Matejka G, Zurbrugg C, SIDI M and MEO (2006b) Caractérisation des ordures ménagères à Nouakchott – Partie 2 : Résultats en saison sèche et en saison humide. Déchets, Sciences et Techniques n° 44, décembre 2006.

Aloueimine S, Matejka G, Zurbrugg C, Sidi Mohamed ME (2005a) Caractérisation des Ordures Ménagers à Nouakchott : Partie I : Méthode d'Echantillonnage, article en Presse, 7 pages.

Aloueimine S, Matejka G, Zurbrugg C, Sidi Mohamed ME (2005b) Caractérisation des Ordures Ménagers à Nouakchott : Partie II : Résultats en Saison Sèche et en Saison Humide, article en Presse, 8 pages.

Aloueimine S, Matejka G, Zurbrugg C, Sidi Mohamed ME (2006) Caractérisation des Ordures ménagères à Nouakchott : Partie II : Résultats en Saison Sèche et en Saison Humide, Déchets-Revue Francophone d'Ecologie Industrielle No. 44. 8 p.

Alouemine SO (2006) Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat. Université de Limoge, France.

Aran C (2001) Modélisation des écoulements de fluides et des transferts de chaleur au sein des déchets ménagers. Application à la réinjection de lixiviat dans un centre de stockage. Thèse de Doctorat : 242 p. INP, Toulouse.

Available from: <http://diasporas-noires.com/le-sac-plastique-indesirable-au-mali-et-en-mauritanie>

Aye L, Widjaya ER (2005) Environmental and economic analysis of waste disposal options for traditional markets in Indonesia, Waste Management, Article in Press, accepted 15 September 2005.

Badran MF, El-Haggar SM (2006) Optimization of municipal solid waste management in Port Said Egypt. Journal of Waste Management 26: 534-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2005.05.005>

Beck-Friis B, Smars S, Jonsson H, Kirchmann H (2001) SE--Structures and Environment: Gaseous Emissions of Carbon Dioxide, Ammonia and Nitrous Oxide from Organic Household Waste in a Compost Reactor under Different Temperature Regimes. Journal of Agricultural Engineering Research 78: 423-430.

Beguin D (1995) La gestion intégrée des déchets municipaux, TSM, n°2, pp. 105-106.

Bendjoudi Z, Taleb F, Abdelmalek F, Addou A (2009) Healthcare waste management in Algeria and Mostaganem department. Journal of Waste Management. 29(4):1383-7. Doi: 10.1016/j.wasman.2008.10.008. Epub 2008 Dec 16.

Bernache-Pérez G, Sanchez-Colon S, Garmendia AM, Davila-Villarreal A and Sanchez-Salazar ME (2001) Solid waste characterisation study in Guadalajara Metropolitan Zone, Mexico. Journal of Waste Management and Research, 19: 413 - 424.

Berthe C (2006) Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. Thèse de doctorat : 196 p. Limoges.

Bouhadiba B, Mezouari F, Kehila Y, Matejka G (2010) For an Integrated Management of Municipal Solid Waste in Algeria. Systemic and Methodological Approaches. International Review of Chemical Engineering - Rapid Communications 2 (3): 426-429.

Boukelia T and Mecibah MS (2012) Solid waste as renewable source of energy: current and future possibility in Algeria, International Journal of Energy and Environmental Engineering. <http://www.journal-ijeee.com/content/3/1/17>

Bovea MD, Powell JC, Gallardo A, Capuz-Rizo SF (2007) The role played by environmental factors in the integration of a transfer station in a municipal solid waste management system. *Journal of Waste Management* 27 (4): 545–553.

Buenrostro O and Bocco G (2003) Solid waste management in municipalities in Mexico: Goal and perspectives, *Journal of Resources, Conservation and Recycling* 39: 251- 263.

Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (2011) Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (thermotolérants) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – Fec.Ec 1.0, 3.

Centre technique d'étude et de pollution atmosphérique (2016) Climat et air. Polluant et GES. France

Chalmin P (2011) From Waste to Resource. The World Waste Challenge. Cyclopes European leading research Institute on commodity markets, 24 p.

Chang NB, Chen YL, Wang SF (1997) A fuzzy interval multiobjective mixed integer programming approach for the optimal planning of solid waste management systems. *Fuzzy Sets and Systems* 89 (1): 35-60. doi :10.1016/S0165-0114(96)00086-3

Chang NB, Qi C, Islam K, Hossain F (2012) Comparisons between global warming potential and costbenefit criteria for optimal planning of a municipal solid waste management system. *Journal of Cleaner Production* 20 (1): 1-13. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.08.017.

Charney F (2005) Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat. Université de Limoge, France

Cheniti H, Serradj T, Brahamia K, Makhlouf A and Guerrache S (2013) Physical knowledge of household waste in Algeria: generation and composition in the town of Annaba. *Journal of Waste Management and Research* 31 (11): 1180-6.

Chung SS, Poon CS (1998) A comparison of waste management in Guangzhou and Hong-Kong. *Journal of Resources, Conservation and Recycling* 22 : 203-216.

Clark RM (1970) Economics of solid waste investment decisions. *Journal of Urban Planning and Development Division* 96(1): 65-79.

Coffey M and Coad A (2010) Collection of Municipal Waste in Developing Countries. Nairobi, Kenya, United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), 198 p

Dayal G, Yadav A, Singh RP, Upadhyay R (1993) Impact of climatic conditions and socio-economic status on solid waste characteristics : a case study. *The science of the Total Environment* 136: 143-153.

Deportes I, Mallard P, Loyon L (2012) The ADEME Research Programme on Atmospheric Emissions from Compositing: research findings and literature review. ADEME, pp. 165–175.

Djamel B (2007) Eradiquer à terme les décharges traditionnelles et sauvages. *Journal Mutations* 59, 25

Economopoulos AP (2010) Techno economic aspects of alternative municipal solid waste treatment methods. *Journal of Waste Management* 30(4) : 707-15. doi: 10.1016/j.wasman.2009.11.004

El-Fadel M, Bou-zeid E, Chahine W, Alayli B (2002) Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content, *Waste Management* 22: 269-282.

Esmaili H (1972) Facility selection and haul optimization model. *Journal of the Sanitary Engineering Division* 98(6): 1005-21.

Eurostat-News release: Environment in the EU27. Stat/13/33 ; 2013 Mar 4.

Fehr M, De Castro MSMV, Calcado MDR (2000) A practical solution to the problem of household waste management in Brazil. *Journal of Resources, Conservation and Recycling* 30: 245-257.

Féniel P, Culot M (2009) Household solid waste generation and characteristics in Cape Haitian city, Republic of Haiti. *Journal of Resources, Conservation and Recycling* 54: 73–78.

Folléa V, Brunet F, Benrabia N, Bourzai MP, Faucompre P (2001) Revue comparative des modes de gestion des déchets urbains adoptés dans différents pays de la ZSP. Agence française du Développement N° 24.

François V (2004) Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchet ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets. Thèse de doctorat N°8-2004, Université de Limoges.

Francois V, Feuillade G, Skhiri N, Lagier T and Matejka G (2006) Indicating the parameters of the state of degradation of municipal solid waste, *Journal of Hazardous Materials B* 137: 1008-1015.

Garcia AJ, Esteban MB, Marquez MC, Ramos P (2005) Biodegradable municipal solid waste: Characterization and potential use as animal feedstuffs. *Journal of Waste Management* 25(2005): 780-787.

Gbedo V (2010) Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou : Approche pour une maîtrise des aspects technique et socio-économique, Thèse de Doctorat : 237p. Université d'Abomey-Calavi.

Gbinlo RE (2011) Organisation et financement de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Afrique Sub-saharienne : Cas de la ville de Cotonou au Bénin. Thèse de doctorat: 238p. Université d'Orléans, France.

Gillet R (1985) *MSW Management and its Application in Developing Countries*. 1sted. Copenhagen, Denmark.

Gourine L (2010) Country report on the solid waste management: Algeria. The regional solid waste exchange of information and expertise network in Mashreq and Maghreb countries. <http://www.sweep-net.org/content/algeria> (2010). Accessed July 2010.

Guermoud N, Ouadjnia F, Abdelmalek F, Taleb F and Addou A (2009) Municipal solid waste in Mostaganem city (Western Algeria). *Journal of Waste Management* 29(2):896-902. doi: 10.1016/j.wasman.2008.03.027. Epub 2008 Jul 21.

Guo P and Huang GH (2009) Inexact fuzzy-stochastic mixed-integer programming approach for long-term planning of waste management e Part A: Methodology. *Journal of Environmental Management* 91 (2): 461-70. doi: 10.1016/j.jenvman.2009.09.014.

Helms B and Clark R (1971) Locational models for solid waste management. *Journal of Urban Planning and Development Division, Proc. ASCE* 97: 1-13.

Hoornweg D and Bhada-Tata P (2012) *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington D.C. Urban Development and Local Government Units No. 15, 98.

Human Activity and the Environment: Solid waste in Canada. Annual Statistics (2005) Catalogue No.: 16-201-XIF.

Jimenez EI and Garcia VP (1991) Composting of Domestic Refuse and Sewage-Sludge .1. Evolution of Temperature, pH, C/N Ratio and Cation-Exchange Capacity. *Journal of Resources Conservation and Recycling* 6: 45-60.

Juul N, Münster M, Ravn H, Söderman ML (2013) Challenges when performing economic optimization of waste treatment: a review. *Journal of Waste Management* 33 (9): 1918-25. doi:[10.1016/j.wasman.2013.04.015](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.04.015)

Kathirvale S, Yunus MNM, Sopian K, Samsuddin AH (2003) Energy potential from municipal solid waste in Malaysia. *Journal of Renewable Energy* 29: 559-567.

Kehila Y, Mezouari F, Matejka G (2009) Impact de l'Enfouissement des déchets solides urbains en Algérie: Expertise de deux Centres d'Enfouissement Technique (CET) à Alger et Biskra. *Revue Francophone d'écologie industrielle, Déchets*.N°56, 4ème trimestre.

Koledzi EK, Louis J, Baba G, Gaia L, Koriko MA, Sanonka T and Matejka G (2012) Urbanwaste management; composting control by oxygen content measurement, *International journal of emerging trends in engineering and development*, Issue 2, Vol 5.

Kölsch F (1995) Material values for some mechanical properties of domestic waste. *Proceedings Sardinia 95, 5th International Landfill Symposium, Cagliari*. Vol. II, pp. 711-729.

Komilis DP and Ham R (2004) Life-cycle inventory of municipal solid waste and yard waste windrow composting in the United States. *Journal of Environmental Engineering* 130(11) : 1390–400. Doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:11\(1390\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:11(1390)). (Traduire par Google translate).

Kouidri M (2009) Etude et optimisation de deux composts obtenus à partir d'ordures ménagères et de déchets verts de la ville de Mostaganem. *Mémoire de magister*. Université de Mostaganem.

Lagier T (2000) Etude des macromolécules de lixiviat: caractérisation et comportement vis à vis des métaux, *Thèse de doctorat* : 274p. Université de Poitiers.

Landva AO and Clark JI (1990) Geotechnics of waste fill. *Geotechnics of waste fill - theory and practice*, ASTM, Special Technical Publication 1070: 86-103.

Le Bozec A (1998) Organisation intercommunale : enjeu majeur dans la modernisation de la gestion des déchets, *Revue Environnement et Technique*, n°177, pp. 31-33.

Le Bozec A (2008) The implementation of PAYT system under the condition of financial balance in France. *Journal of Waste Management* 28: 2786–2792.

Li P and Chen B (2011) FSILP: fuzzy-stochastic-interval linear programming for supporting municipal solid waste management. *Journal of Environmental Management* 92 (4): 1198-209.

Lopez A, Pagano M, Volpe A, Pinto ACD (2004) Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate. *Chemosphere* 54 (7) : 1005-1010.

Lornage R (2006) Comparaison de trois filieres de stockage d'ordures ménagères: Etude du comportement des déchets en pilotes semi industriels et caractérisation des émissions liquides et gazeuses associées, Thèse de doctorat, Université Lyon I – Claude Bernard N° 230-06.

LouatiHalouani H (2012) City of Sfax (Tunisia). International Conference, 2012 Nov 13-14; Mahdia. Tunisia: The Mediterranean integrated sustainable waste and Resource management network for local and regional authorities.

Maystre LY, Diserens T, Duflon V, Leroy D, Simos J and Viret F (1994) Déchets urbains – nature et caractérisation. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Collection Gérer l'Environnement, 232 p.

Mbulugwe SE and Kassenga GR (2004) Feasibility and strategies for anaerobic déjection of solidwaste for energy production in Dar Es Salaam city, Tanzania. *Journal of Resources, Conservation and Recycling* 42: 183- 203.

Mehdi MM, Belabbed BE, Djabri L, Hani A and Laour R (2007) Characteristics of the Tiaret town landfill and its impact on groundwater quality. *Courrier du Savoir* 08 : 93-99

Mezouari F (2011) Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux. Thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique d'architecture et d'urbanisme et l'université de Limoge, France.

Minoglou M and Komilis D (2013) Optimizing the treatment and disposal of municipal solid wastes using mathematical programming- A case study in a Greek region. *Journal of Resources,*

Conservation and Recycling 80 (1): 46- 57. [doi:10.1016/j.resconrec.2013.08.004](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.08.004). Traduire par Google translate.

Modecom (1993) Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères/ 2ème édition, ADEME

Mohan S and Gandhimathi R (2009) Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent, Journal of Hazardous Materials 169: 351–359.

Mohee R (2002) Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius. Journal of Resources, conservation and Recycling 36: 33 – 43.

Moletta R (2009) Le traitement des déchets. Ed. TEC&DOC, France.

Monni S, Pipatti R, Lehtilä A, Savolainen I and Syri S (2006) Global climate change mitigation scenarios for solidwaste management, VTT Publications 603, Julkaisija Publisher, Finland Available from: <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2006/P603.pdf>>

Münster M and Meibom P (2011) Optimization of use of waste in the future energy system. Energy 36 (3) : 1612-22. [doi:10.1016/j.energy.2010.12.070](https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.070)

Ngnikam E (2002) La maîtrise de la collecte et de traitement des déchets solides dans les pays en développement et réduction des émissions de gaz à effet de serre, rencontre de la coopération technologique nord-sud pour le développement durable et le climat organisée dans le cadre de pollutec, Lyon 25 et 26 Novembre 2002, 22 p.

Nicolas P (2004) Approche globale des besoins en informations des collectivités locales dans le domaine de la gestion des déchets ménagers. Essai d'une analyse spatiale sur les villes de Grenoble, Vitry-Sur-Seine et de la Communauté d'Agglomération du Pays Voironnais. Thèse de Doctorat. Institut de Géographie Alpine, UJF, Grenoble.

Ntabugi kikongo MM (2013) Analyse du niveau de connaissances de la population de la ville de Bukavu sur la gestion des déchets ménagers : Cas de la commune d'Ibanda, Sud-Kivu, RDCongo. Thèse de Doctorat. Université de Biosadec. République démocratique du Congo.

OCDE (2008) Données sur l'environnement, compendium 2006-2008, déchet. www.oecd.org/dataoecd/22/58/41878186.pdf

Ojeda-Benitz S, Armijo De Vega C, Ramirez-Barreto ME (2003) Characterization and quantification of household solid waste in a Mexican city. *Journal of Resources, Conservation and Recycling* 39: 211-222.

Ouddane B (1990) Comportement des éléments majeurs et mineurs dans un milieu soumis à des gradients physico-chimiques marqués : cas de l'estuaire de la Seine. Thèse de doctorat : 227p. U.S.T.L, Lille 1.

Parrot L, Sotamenou J, Kamgnia DB (2009) Municipal solid waste management in Africa: Strategies and livelihoods in Yaoundé, Cameroon. *Journal of Waste Management* 29: 986-995.

Pilgrim S (2014) Le sac plastique indésirable au Mali et en Mauritanie. *Diasporas noires, Librairie numérique équitable / La revue des bonnes nouvelles d'Afrique*.

Pires A, Martinho G, Chang NB (2011) Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management* 92 (4): 1033-50. doi:10.1016/j.jenvman.2010.11.024

Planetoscope. Statistiques mondiales en temps réel: Consommation de verres de lunettes en France. Available from: <http://www.planetoscope.com/Sante-autre/1485-consommation-de-verres-de-lunettes-en-france.html>.

Post J (1999) The problems and potentials of privatising solid waste management in Kumasi, Ghana *Habitat International* 23 (2): 201-215.

Potter KE (2011) Nitrous oxide (N₂O). Isotopic composition in the troposphere: instrumentation, observations at Mace Head, Ireland, and regional modeling. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.

Poulsen OM, Breum NO, Ebbelohj N, Hansen AM, Ivens UI, van Lelieveld D, Malmros L, Matthiasen L, Nielsen BH, Moller Nielsen E, Schibye B, Skov T, Stenbaek EL and Wilkins CK (1995) Collection of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *The Science of the Total Environment* 170(1): 1-19.

Racine S (2002) Rue Écologique: Expérience à Pointe -aux Trembles, Montréal, *Vertigo. La revue en sciences de l'environnement* 3(2) : 8-17.

- Rathi S (2007) Optimization model for integrated municipal solidwaste management in Mumbai, India. *Journal of Development Economics* .12 (1): 105-21. Doi:10.1017/S1355770X0600341X
- ROCORD (2003) Etat des connaissances sur les microorganismes dans les filières de déchets. 124 pages. N° 01-0657/1A
- Rodier J (1984) L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer), 7th ed. p. 177. Ed Dunod, Paris, France.
- Sakulrat J, Yuen STS, Joseph JB (2003) Municipal solid waste management in Thailand: the current situation and possible short-term changes. In Ninth International waste management and Landfill Symposium. Cagliari, Italy.
- Schwartzbrod J, Arnaud C, (1998) Risques sanitaires liés aux boues d'épuration des eaux usées urbaines. Groupe de travail "biologie". Lavoisier TEC DOC.
- Scientific and Technical Association for Water and the Environment ASTEE (2013) Methodology Guide for evaluating greenhouse gas emissions by water and sanitation services. Third ed, France.
- SEEE (2004) Programme National des Déchets Ménagers, Etude relative à la gestion des déchets ménagers. Maroc.
- Sefouhi L (2012) Recycling: A Practical Solution to the Problem of Household Waste Management in Batna City (Algeria). *Journal of Business Market Management* 12-014.
- Shadiya OO, Satish V, High KA (2012) Process enhancement through waste minimization and multiobjective optimization. *Journal of Cleaner Production* 31 (1): 137-149.
- Smati M (2012) City of Setif (Algeria). International Conference, 2012 Nov 13-14; Mahdia. Tunisia: The Mediterranean integrated sustainable waste and Resource management network for local and regional authorities.
- Stéphanie LM (2009) Gestion des déchets ménagers : du consommateur à l'"acteur-citoyen" entre contrainte et persuasion. Thèse de Doctorat. Ecole Doctorale de Sciences Economiques et de Gestion d'Aix-Marseille N°372.
- Stratégie de développement de la ville de Tunis : Diagnostic stratégique et problématiques de développement. Centre des Nations Unies pour les Établissements Humains (CNUEH) et Programme

de Gestion Urbaine (PGU). Tunisie. Available from:
www.euromedina.org/bibliotheque_fichiers/Doc_TunisCDSReport_Fr.pdf

Sundberg C, Smars S, Jonsson H (2004) Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Journal of Bioresource Technology* 95: 145-150.

SWEEP-Net (2010) Report on the solid waste management in Lebanon. SWEEP-Net; 2010 Jul.

SWEEP-Net (2010) Report on the solid waste management in Egypt. SWEEP-Net; 2010 Jul.

SWEEP-Net (2010) Report on the solid waste management in Yemen. SWEEP-Net; 2010 Jul.

SWEEP-Net (2010) Report on the solid waste management in Egypt. SWEEP-Net; 2010 Jul.

SWEEP-Net (2010) Report on the solid waste management in Tunisia. SWEEP-Net; 2010 Jul.

SWEEP-Net (2010) Report on the solid waste management in Tunisia. SWEEP-Net; 2010 Jul.

SWEEP-Net (2012) Report on the solid waste management in Algeria. SWEEP-Net; 2012 Jul.

Tadesse T (2004) *Solid Waste Management*. TakeleTadesse édition, Éthiopie, 190 p

Tahraoui Douma N, Matejka G, Chambon S, Touil D (2012) Composition of Municipal Solid Waste (MSW) generated by the city of Chleff (Algeria). *Journal of Energy Procedia* 18: 762- 771

Technical Report (2012) Urban waste and material flow analysis outline in the Mediterranean, Summary of the Plan Bleu's. Programme of work (2009-2012).

Thogersen J (1999) Wasteful Food Consumption: Trends In Food And Packaging Waste, *Scandinavian Journal of Management* 12(3): 291-304.

Tini A (2003) *La gestion des déchets solides ménagers au Niger : Essai pour une stratégie de gestion durable*, Thèse de doctorat : 301 p. Institut National de Lyon.

Topanou KAN (2012) *Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey- Calavi (Bénin): Caractérisation et essais de valorisation par compostage*. Chimie de l'environnement, Chimie des déchets. Thèse de doctorat : 194 p. Université d' Abomey-Calavi/Université d' Aix Marseille.

Topanou N, Domeizel M, Fatombi J, Josse RG and Aminou T (2011) Characterization of household solid waste in the town of Abomey - Calavi in Benin, *Journal of Environmental and Protection* 2: 669-676.

Tsilemou K and Panagiotakopoulos D (2006) Approximate cost functions for solid waste treatment facilities. *Journal of Waste Management and Research* 24(4): 310-22. Doi: 10.1177/0734242X06066343 (Traduire par Google translate).

Tsilemou K and Panagiotakopoulos D (2007) Economic assessment of mechanical-biological treatment facilities. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management* 39(1): 55-63. (Traduire par google translate).

Union Française des Industries des Cartons, Papiers et Celluloses COPACEL (2012) Rapport statistique de l'industrie papetière Française et mondiale. Available from: www.copacel.fr/media/document/fichier/statistiquesl2011web.pdf

Unlu N and Ersoz M (2006) Adsorption characteristics of heavy metal ions onto a low cost biopolymeric sorbent from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials* B136: 272-280.

VikashTalyan RP, Dahiya TR (2007) Sreekrishnan. State of municipal solid waste management in Delhi, the capital of India. *Journal of Waste Management* 28 (7): 1276-87.

Wicker A (2000) Gestion des déchets. *Statistiques pour la politique d'environnement* 27-28.

World Bank (1999) Municipal solid waste incineration. The International Bank for Reconstruction and Development. Technical Guidance Report. Washington, DC.

Xu Y, Huang GH, Qin XS, Cao MF and Sun Y (2010) An interval-parameter stochastic robust optimization model for supporting municipal solid waste management under uncertainty. *Journal of Waste Management* 30 (2): 316-27. [doi:10.1016/j.wasman.2009.10.006](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.006)

Yeh CH and Xu Y (2013) Sustainable planning of e-waste recycling activities using fuzzy multicriteriadecision making. *Journal of Cleaner Production* 52:194-204. [doi:10.1016/j.jclepro.2013.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.003)

Zaïri M, Ferchichi M, Ismaïl A, Jenayeh M and Hammami H (2004) Rehabilitation of Yahoudia dumping site, Tunisia. *Journal of Waste Management* 24 (2004): 1023-1034.

Références bibliographiques

Zornberg JG, Jernigan BL, Sanglerat TH and Cooley BH (1999) Retention of free liquid in landfill undergoing vertical expansion. *Journal of Geotechnical and Geo Environmental Engineering*, Vol. 125(7): 583-594.

Zurbrugg C and Ahmed R (1999) Enhancing Community Motivation and Participation in Solid Waste Management." *SANDEC News* 4

